

Bewertung des Einsatzes von 3D-Druckern in Produktionsnetzwerken

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“
im Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und
Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Gülen

Vorname: Muhammed Emin



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Relevanz	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau	2
2 Additive Fertigung im Überblick	3
2.1 Additive Fertigung / Additive Manufacturing (AM).....	3
2.2 Prozesskette der additiven Fertigung	4
2.3 Aufbau und Funktionsweise der 3D-Druckverfahren	6
2.3.1 FLM-Verfahren (Extrusionsverfahren)	6
2.3.2 3D-Printing-Verfahren (3DP).....	7
2.3.3 Polymerisationsverfahren – Stereolithographie (SL)	9
2.3.4 Aerosol drucken und Bioplotter.....	10
2.4 Marktanalyse 3D-Druck	10
2.5 Industrielle Anwendungsbereiche des 3D-Drucks	13
2.5.1 Prototypen- und Werkzeugbau	14
2.5.2 Luft- und Raumfahrt	14
2.5.3 Automobilindustrie	15
2.5.4 Elektronik	16
2.3.5 Medizin	16
3 Additive Fertigung in Produktionsnetzwerken	17
3.1 Implementierung des 3D-Drucks in Produktionsnetzwerke	17
3.2 Ökonomischer Ansatz - Wirtschaftlichkeitsbewertung	20
3.2.1 Kostenermittlung der additiven Fertigung	21
3.2.2 Vergleich additiver und herkömmlicher Fertigungsverfahren hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit.....	24
3.3 Ökologischer Ansatz	31

3.3.1 C02 - Bilanz / Carbon Foot Print	33
3.3.2 Biokompatible 3D-Druck Rohstoffe.....	33
3.4 Juristischer Ansatz.....	34
4 Auswirkungen des 3D-Drucks auf Produktionsnetzwerke	36
4.1 Lean Production und additive Fertigung	37
4.2 Supply Chain 4.0	45
4.3 Neuartige Geschäftsmodelle und -prozesse.....	51
5 Modellierung der Reorganisation einer Fabrik	52
5.1 Methodik	53
5.3 Szenario.....	53
5.4 Nutzwertanalyse	53
5.5 Wertstromdesign.....	56
5.5.1 Symbolik	57
5.5.2 Istzustand	58
5.5.3 Sollzustand	59
5.6 Bewertung.....	61
6 Branchenstrukturanalyse	62
6.1 Rivalität der Wettbewerber	63
6.2 Ersatzprodukte.....	66
6.3 Kunden	68
6.4 Lieferanten	69
6.5 Potenzielle neue Mitbewerber	70
6.6 Bewertung.....	71
7 Technology Acceptance Model	72
8 Kritische Würdigung und Limitationen.....	74
9 Fazit und Ausblick	76
Literaturverzeichnis.....	V
Anhang	82
Experteninterview	82
Ehrenwörtliche Erklärung.....	90

1 Einleitung

1.1 Relevanz

Begriffe wie „Industrie 4.0“ oder „Digitalisierung“ begleiten die Geschäftswelt nun schon seit einigen Jahren und bieten viel Gesprächsstoff und Diskussionsbedarf. Jedoch ist dieses Thema schon lange kein reines Fachgebiet für Experten, sondern auch für die Bevölkerung eine alltägliche Tatsache und fester Bestandteil der Gesellschaft geworden. Zweifellos bietet die Digitalisierung viele neue Möglichkeiten nicht nur in technischer Hinsicht, sondern auch auf gesellschaftlicher, ökologischer und ökonomischer Ebene hat sich im laufenden Jahrzehnt einiges verändert. Der Fokus liegt in der Gegenwart nunmehr darauf diese Veränderungen zu perfektionieren und anfängliche Fehler und Schwächen auszumerzen.

Eine nicht unerhebliche Entwicklung während der digitalen Industrialisierung hat der s.g. 3D-Drucker absolviert. Die ersten Drucker dieser Art entstanden schon lange vor der Zeit der Digitalisierung. Jedoch hat die zunehmende Konzentration auf Kundenbedürfnisse und daraus resultierend eine expandierende Agilität der Produktionsnetzwerke, welche fortwährend auf dem Markt rapide angepasst werden müssen, den Weg dieser Technologie geebnet. Die additive Fertigung entpuppt sich somit als eine zukunftsorientierte Produktionstechnik, um dem Wandel innerhalb der Industrie gerecht zu werden, und könnte mit fortlaufender Entwicklung einige herkömmliche Fertigungstechnologien ablösen. Vor allem die Möglichkeit, geometrisch anspruchsvolle Produkte in kürzester Zeit ohne Umstellung einer gesamten Produktionslinie herzustellen, macht diese Technologie für viele Geschäftsbereiche hochattraktiv.¹ Die Anpassung der Qualität additiv hergestellter Produkte an herkömmlich produzierte Produkte unterstreicht nochmals die unausweichliche Revision in nicht allzu ferner Zukunft.

Im Angesicht der vorrangegangenen Überlegungen hat die additive Fertigung und der Einsatz von 3D-Druckern in Produktionsnetzwerken eine hohe Relevanz inne, da diese im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren einer rasanten Entwicklung unterliegen. Das hohe Entwicklungspotenzial des 3D-Drucks erlaubt logische Prognosen der Veränderung von produktiven, ökonomischen und gesellschaftlichen Prozessen in Gegenwart und Zukunft.²

¹ Vgl. Lippert et al. (2018), S. 18 f.

² Vgl. Gebhardt (2015), S. 7.

1.2 Zielsetzung und Aufbau

Ausgehend von der schnellen Entwicklung der additiven Fertigung wird der Fokus der vorliegenden Arbeit auf 3D-Drucker und ihre Implementierung in Produktionsnetzwerke gesetzt. Auf Grundlage dessen sollen folgende drei Kernfragen näher untersucht werden:

1. Welche Vor- und Nachteile bringen 3D-Drucker in Produktionsnetzwerken auf ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Ebene?
2. Ist es für produzierende Unternehmen zwingend notwendig, dem Trend der additiven Fertigung zu folgen?
3. Ist die additive Fertigung als eine disruptive Technologie für herkömmliche Fertigungsmethoden einzustufen?

Basierend auf diesen Kernfragen werden im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit Einblicke in den technischen Hintergrund des 3D-Drucks gegeben und Methoden und Anwendungsbereiche der additiven Fertigung dargestellt, um das Verständnis für den weiteren Verlauf des Untersuchungsgegenstandes zu gewährleisten. Der dritte Teil bezieht sich explizit auf die additive Fertigung in Produktionsnetzwerken und den Stellenwert des 3D-Drucks in der Industrie 4.0. Ferner werden ökologische, ökonomische und politisch-rechtliche Ansätze des 3D-Drucks untersucht und daraus strukturelle Veränderungen der klassischen Fertigung abgeleitet. Des Weiteren sollen neuartige Geschäftsmodelle und Prozesse dargelegt werden. Zur weiteren Untersuchung der Implementierung additiver Fertigungsverfahren in Produktionsstätten wird im Rahmen einer Reorganisation unter Anwendung eines methodischen Wertstromdesigns eine Fabrik geplant und anschließend bewertet. Das Wertstromdesign soll dabei vor allem die Veränderungen der Wertschöpfungskette hervorheben und die Unterschiede in der Planung und Umsetzung einer additiven Fertigungseinheit verdeutlichen. Um neben der methodischen und technischen Planung einer additiven Fertigungseinheit auch einen Überblick über die Branche des Additive Manufacturing zu erhalten, wird eine Branchenstrukturanalyse nach Porter getätigt, um mögliche Schwächen, Stärken, Risiken und Chancen zu untersuchen und zu bewerten. Im letzten Teil der Arbeit wird auf Basis eines Experteninterviews mit einem Mitarbeiter im Bereich der additiven Fertigung der Bosch Car Multimedia GmbH die Meinung eines Fachmannes zu der Fertigungsmethode eingeholt. Auf Basis des Experteninterviews wird das Technology Acceptance Model angewendet, um Gründe für die Nutzung der Technologie zu identifizieren und mögliche Gründe zu erforschen, warum 3D-Drucker in verschiedenen Bereichen nicht zum Einsatz kommen.

Das Ziel dieser Arbeit soll es sein, den Einsatz des 3D-Druckers für Produktionsnetzwerke zu untersuchen und einen allgemeinen Einblick in die Bewertung dieser Technologie auf verschiedenen Ebenen zu erhalten. Darauf basierend soll auf Grundlage der Untersuchungen auf mögliche Zukunftsszenarios geschlossen werden.

2 Additive Fertigung im Überblick

2.1 Additive Fertigung / Additive Manufacturing (AM)

In Deutschland werden Fertigungsverfahren nach DIN 8580 in sechs Hauptgruppen eingeteilt, welche wie folgt dargestellt werden:

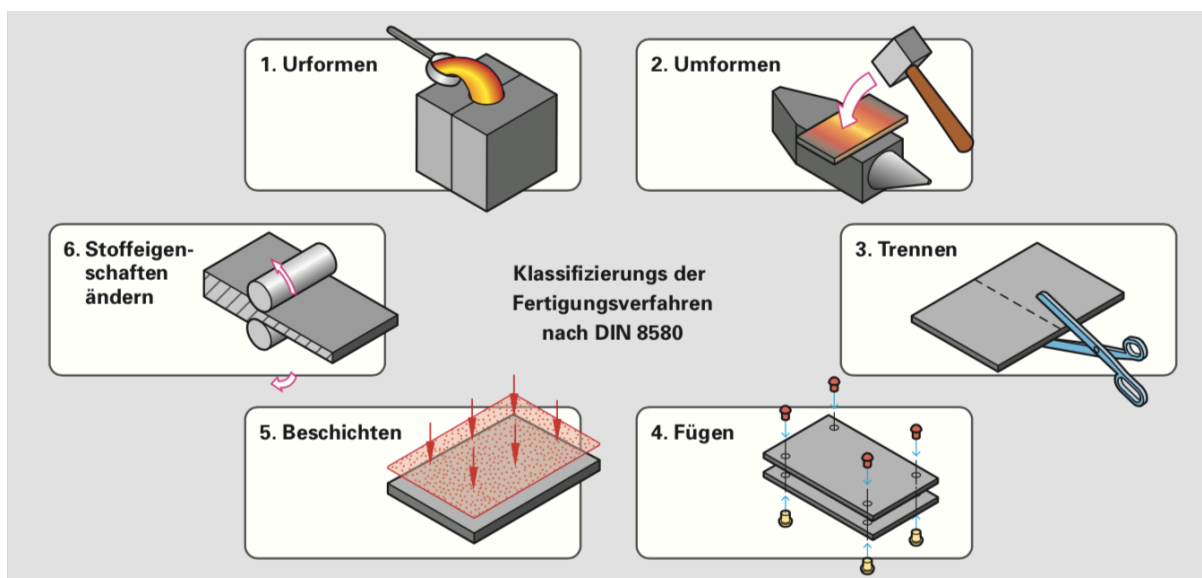


Abbildung 1 Fertigungsverfahren nach DIN 8580³

Die Fertigungsverfahren der Gruppen eins bis vier sind formgebende Verfahren, wodurch die gewünschte Geometrie erzielt werden kann, und bestimmen zugleich auch den stofflichen Zusammenhalt des Werkstücks. Bei diesen Fertigungsgruppen wird das Werkstück durch mechanische und thermische Einwirkung formgebend verändert. Die Fertigungsverfahren der Gruppen fünf und sechs zielen auf die Veränderung der Stoffeigenschaften des Werkstückes ab, beispielsweise um eine gewisse Härte oder Korrosionsschutz zu erhalten (siehe Abbildung 1).⁴ Bei diesen s.g. subtraktiven Fertigungsverfahren wird das Werkstück abgetragen und die gewünschte Form ergibt sich beispielsweise durch Bohren, Fräsen oder Zerspanen.

³ Entnommen aus Berger et al. (2013), S. 8.

⁴ Vgl. Berger et al. (2013), S. 8.

Eingrenzung lag vor allem in der Verdeutlichung der Ballung vieler Anbieter. Möglicherweise wäre eine deutschlandweite Untersuchung der Branchenstruktur ebenfalls interessant gewesen, wenngleich die Untersuchung der Vielzahl an klein- und mittelständischen Anbietern von Additive Manufacturing Services den Rahmen des Untersuchungsgegenstandes gesprengt hätte.

Das Technology Acceptance Model wurde auf Grundlage eines Interviews zur Akzeptanz und Nutzung additiver Fertigungsverfahren evaluiert. Ursprünglich war geplant, mehrere Meinungen von verschiedenen Experten einzuholen, was jedoch aufgrund unternehmensinterner Datenschutzregelungen nicht möglich war. Dennoch erlaubt das Technology Acceptance Model wertvolle Rückschlüsse auf Ursachen der Akzeptanz und des Nutzungsverhaltens von Personen hinsichtlich additiver Fertigungstechnologien.

Insgesamt kann gesagt werden, dass generelle Annahmen und Ergebnisse auf Basis der Literatur und vorhandener Daten aus Fertigung und Forschung präsentiert wurden. Insoweit untersuchungsrelevante Daten nicht verfügbar waren, wurden Modelle zur Anwendung der Technologie herangezogen. Für eine weitere und spezialisierte Untersuchung wäre es von Vorteil, den Untersuchungsumfang für explizite Fertigungsverfahren, Methoden oder Produkte einzugrenzen und verwertbare Daten aus einer laufenden Produktionsstätte zu nutzen. Für eine allgemeine Bewertung generativer Fertigungsverfahren, daher als Untersuchungsgrundlage eine Mischung aus Literaturrecherche und der Stellungnahme eines Experten zu gezielten Fragen hinsichtlich der objektiven Bewertung von 3D-Druckern gewählt und durch Analysemethoden geprüft.

9 Fazit und Ausblick

Aufgrund der erfolgten Untersuchungen zum ökonomischen Ansatz ergeben sich bei der Bewertung von 3D-Druckern in Produktionsnetzwerken wesentliche Vorteile. Dabei kommt es beim 3D-Druck und dem wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie in einem Produktionsnetzwerk immer auf das zu produzierende Produkt und die gewünschte Ausbringungsmenge an. Bei der Erstellung von produktionsvorbereitenden Bauteilen in geringen Stückzahlen stellt der 3D-Druck eine Chance zur Kosten- und Aufwandsminimierung dar. An dieser Stelle kann deshalb gesagt werden, dass die ökonomische Rechtfertigung der Implementierung von 3D-Druckern in Produktionsnetzwerken jeweils situationsbedingt zu beurteilen ist. Das bedeutet, es muss generell bewertet werden, welche Losgröße produziert werden soll und wie groß der Aufwand im Gegensatz zu herkömmlichen

Produktionsmitteln ist. Zudem ist es wichtig zu beachten, inwiefern die individualisierte Produktion sinnvoll ist. Aus gegenwärtiger Perspektive ist der 3D-Druck ein gutes Hilfsmittel für produktionstechnische Erleichterungen in herkömmlichen Fertigungsverfahren der Serienfertigung. In Branchen, in denen individualisierte Produkte benötigt werden, wie beispielsweise medizinische Hörgeräte, oder in der Entwicklung und Produktion von kundenspezifischen Prototypen ist der Einsatz generativer Fertigungsmethoden wirtschaftlich vertretbar.

Aus ökologischer Perspektive bringt der 3D-Druck immense Vorteile mit sich. Durch gezielten Materialeinsatz kann unter Minimierung des Materialausschusses ressourcenschonender produziert werden. Auch spielt hier die örtliche Unabhängigkeit der Produktion eine Rolle. Mit einem 3D-Drucker ist es möglich, unabhängig von einer Fabrikhalle oder Produktionsstätte Güter zu erstellen. Aus diesem Grund wird dem 3D-Druck auch eine gute CO_2 -Bilanz zugeschrieben. Biologisch abbaubare Rohstoffe, welche in Verbindung mit einem 3D-Drucker zur Verminderung der Kunststoffbelastung der Umwelt beitragen können, sind ökologisch von hoher Bedeutung.

Auf gesellschaftlicher Ebene können 3D-Drucker mit juristischen Problemen behaftet sein. Durch Verlagerung des Wertes eines Produktes auf die virtuelle Existenz kann es zu Urheberrechtsverletzungen durch konkurrierende Unternehmen und private 3D-Drucker-Nutzer kommen. Abgesehen von Raubkopien der CAD-Daten ist es mittlerweile auch durch 3D-Scanner möglich, Produkte zu kopieren. Im Experteninterview wurde die Gefahr der unerlaubten Verbreitung von Designs und Produkten jedoch nicht höher eingestuft als bei herkömmlichen Verfahren. Produktpiraterie stellte schon immer ein Problem für kommerziell agierende Unternehmen dar, und wird mit weiterer Entwicklung additiver Fertigungstechnologien keine größere Gefahr darstellen wie bei herkömmlichen Fertigungsverfahren.

Im Rahmen der rasanten Entwicklung additiver Fertigungsverfahren erwägen immer mehr Unternehmen, bestimmte Produktionsprozesse auf additive Verfahren umzustellen. Ähnlich wie bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung richtet sich die Entscheidungsfindung über die Implementierung additiver Verfahren nach dem zu produzierenden Gut oder der Dienstleistung, die angeboten wird. Gleichzeitig kommt es auf die Unternehmensstrategie an, welche Ziele verfolgt werden. Für produzierende Unternehmen ist es sinnvoll, additive Fertigungsverfahren in einem hybriden Fertigungsmodell einzubeziehen, um eine technologische Anpassung an die Lean-Ansätze umzusetzen. Auch im Zukunftsszenario der Supply-Chain 4.0 ist

es vor allem für Logistikunternehmen wichtig, dem Trend der additiven Fertigung zu folgen, weil genau dies das Geschäftsfeld solcher Unternehmen maßgeblich ändern wird.

Eine generelle Handlungsempfehlung bezüglich der Implementierung einer additiven Fertigung in die eigene Produktion ist aber nicht sinnvoll, da die Unternehmen nach Maßgabe ihrer Markt- und Geschäftsstrategien entscheiden müssen, welche Technologien zur Erreichung ihrer Ziele genutzt werden. Generell kann jedoch gesagt werden, dass eine hohe Individualisierung bei niedriger Produktausbringung immer auf ein Nutzenpotenzial additiver Fertigungsmethoden hinweist.

Die Bewertung additiver Fertigungsmethoden als disruptive Technologie für konventionelle Fertigungsmethoden kann unter Berücksichtigung der Forschungsergebnisse nicht ganz geteilt werden. Vor allem im Technology Acceptance Model wird deutlich, dass die Akzeptanz der Fertigungstechnik vom Anwendungsbereich abhängt. Während in der Serienfertigung eher geringere Akzeptanz besteht, kommt es bei der Produktionsvorbereitung zu einer höheren Anwendung. Der vollständige Ersatz der herkömmlichen Fertigungsanlagen durch 3D-Drucker ist aus heutiger Sicht jedoch unrealistisch. Mit der ständigen Innovation wird die Technologie in Zukunft zwar einige Fertigungsverfahren in bestimmten Produktkategorien ablösen bzw. ersetzen, jedoch kann für die Zukunft nicht von einer generellen Abschaffung herkömmlicher Fertigungsverfahren gesprochen werden. In den meisten Fällen handelt es sich um eine Ergänzung bzw. ein Hilfswerkzeug in einem hybriden Produktionsnetzwerk. Der utopischen Vorstellung einer perfekten Produktionsanlage durch Produktion per Knopfdruck kann der 3D-Druck nicht standhalten. Dennoch ist vorstellbar, dass weitere Innovation und Weiterentwicklung der Technologie in einigen Fällen dazu führen wird, dass traditionelle Produktionsanlagen und Fertigungstechniken nicht mehr profitabel sind und einer Umstellung der Fertigung in Richtung der additiven Produktion erforderlich ist.

Abschließend kann gesagt werden, dass die langjährige Erfahrung in der traditionellen Fertigung einen hohen Nutzen mit sich bringt. Das Erfahrungsdefizit der additiven Fertigungstechnologien wird in naher Zukunft durch die hohe Innovationsrate mit Sicherheit aufgeholt werden. Trotzdem kann festgehalten werden, dass herkömmliche Fertigungsverfahren im Bereich der Qualität und der Quantität den additiven Fertigungsverfahren klar überlegen sind. Auf der anderen Seite haben generative Produktionstechniken Vorteile in Bereichen wie Kleinserien und Prototypen. Die Schlussfolgerung aus dieser Gegenüberstellung liegt ganz klar in der Vermischung beider Fertigungstechniken in einem hybriden Fertigungsansatz. Die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Produktionstechniken können im

Zusammenspiel unerwartete Vorteile hervorbringen und die Produktion in eine neue Dimension bezüglich Qualität, Individualität und Schnelligkeit tragen.