

Geleitwort

Mit seiner Masterarbeit „Die Auswirkungen von Additiven Fertigungsverfahren auf den Arbeitsmarkt“ hat der Verfasser Maximilian Jaschke ein Buch vorgelegt, dass über die Zielsetzungen der meisten Veröffentlichungen zu diesem Thema deutlich hinausgeht.

Bei einem Blick auf die Titel der bislang erschienen allgemeinen Publikationen fällt auf, dass die meisten nichts Anderes enthalten, als eine nützliche Gebrauchsanweisung für den am heimischen 3D-Druck interessierten Konsumenten. Die wissenschaftlichen Publikationen befassen sich häufig mit der Technik und der Funktion der neuartigen Druckverfahren und nicht mit den Anwendungsmöglichkeiten in einzelnen Branchen oder Bereichen.

Anders das vorliegende Buch. Der Verfasser gibt von Seite 5 bis 26 zunächst eine Übersicht über die verschiedenen technischen Verfahren. Danach geht der Autor auf die Einsatzmöglichkeiten sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich ein, deren Vor- und Nachteile, Möglichkeiten und Grenzen aufgezeigt sowie diskutiert werden. Die entscheidende Schwelle scheint hier die Belüftung zu sein, da der Privatanutzer nicht die Kosten aufbringen kann, um der gesundheitsgefährdenden Stoffe, die beim Druckvorgang entstehen, Herr zu werden. Das schränkt die Größenordnung von 3D-Druckern für zu Hause deutlich ein und verhindert, dass der Privathaushalt momentan zum Konkurrenten der Industrie wird.

Als besonderen Vorteil empfand ich die breite Anlage der Beispiele, die dem Leser eine bebilderte Einsicht in die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten gewähren. Der eigentliche Erkenntnisgewinn liegt jedoch noch auf einer anderen Ebene. Durch den Rundumblick auf Phänomene, die mit dem 3D-Druck jetzt schon möglich sind, leitet der Autor das eine oder andere Zukunftsszenario ab. So werden beispielsweise in China bereits Häuser per Druck errichtet. Das hat Konsequenzen für den Arbeitsmarkt, weil weniger Bauarbeiter benötigt werden und für die Umwelt, weil weniger Schutt und Abfall entsteht, um nur zwei Konsequenzen zu nennen. Welche Bedeutung wird das für Deutschland haben?

Der Verfasser schlussfolgert, dass die Auswirkungen überschaubar bleiben, weil das deutsche Baurecht viele bürokratische Hürden enthält, so dass eine ökonomische Anwendung zumindest erschwert oder verlangsamt wird.

Aber auch andere Konsequenzen und Entwicklungen sind interessant: Die Produktion wird individualisiert werden. Kleinere, auf das Einzelbedürfnis der Kunden ausgerichtete Stücke werden designt und hergestellt.

Und, vielleicht die bedenkenswerteste Schlussfolgerung des Buches, die wegen der niedrigen Löhne und geringere Kosten ins Ausland verlagerte Produktion, könnte wieder an ihre Ursprungsstandorte zurückkehren, da sie hier die entsprechend ausgebildeten Arbeitskräfte und die Infrastruktur vorfindet, um ihre 3D-Produktion störungsfrei betreiben zu können. Mit diesen und anderen Schlussfolgerungen ist dem Verfasser eine Analyse gelungen, die weit über den Horizont des üblichen Schrifttums hinausreicht.

Wernigerode, Januar 2018

Dr. Hans-Michael Happel

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Hinführung zum Thema	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Methodischer Ablaufplan	3
2 Grundlagen der additiven Fertigung	4
2.1 Definition der Schlüsselbegriffe.....	4
2.1.1 3D-Drucker.....	4
2.1.2 Additive Fertigung	4
2.1.3 Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing, Rapid Tooling	5
2.1.4 CAD.....	5
2.1.5 Extruder.....	5
2.1.6 Filament.....	5
2.2 Geschichtliche Entwicklung des 3D-Drucker	6
2.3 Verschiedene Druckarten im Überblick.....	9
2.3.1 Selektives Lasersintern (SLS).....	9
2.3.2 Selektives Laserschmelzen (SLM).....	11
2.3.3 3D-Printing (3dp).....	12
2.3.4 Fused Deposition Modeling (FDM).....	13
2.3.5 Stereolithografie (STL).....	15
2.3.6 Multi Jet Modeling (MJM).....	16
2.4 Vorteile gegenüber der herkömmlichen Fertigung	19
2.4.1 Individualisierung/Flexibilität	19
2.4.2 Designfreiheit	19
2.4.3 Reproduzierbarkeit.....	20
2.4.4 Umweltfreundlichkeit	21
2.4.5 Multiobjektfähigkeit.....	21
2.4.6 Multimaterialfähigkeit	21
2.4.7 Präzision.....	22
2.4.8 Qualität.....	22
2.4.9 Schnelligkeit.....	22

2.5	Grenzen	23
2.5.1	Produktionsgeschwindigkeit.....	23
2.5.2	Größenbeschränkungen.....	24
2.5.3	Einschränkungen des Objektdesigns.....	25
2.5.4	Materialeinschränkungen	25
3	3D-Druck in praktischen Anwendungsbereichen	26
3.1	Automobilindustrie	27
3.2	Luft- und Raumfahrt	31
3.3	Solarindustrie	33
3.4	Medizintechnik	34
3.5	Filmindustrie	35
3.6	Architektur und Gebäudebau	36
3.7	Textilindustrie	38
3.8	Kunst/ Design, Möbelstücke, Schmuck	41
3.9	Sportindustrie	44
3.10	Nahrungsmittelindustrie	45
3.11	Werkzeugbau	48
3.12	Verlorene Formen und Ersatzteile	49
3.13	Private Anwendung	50
3.14	Allgemeine Aspekte.....	54
3.14.1	Umsatz	54
3.14.2	Einsparungen	55
3.14.3	Allgemeine Vorteile.....	56
3.14.4	Allgemeine Nachteile.....	59
3.15	Zusammenfassung der Anwendungsgebiete.....	63
4	Aktuelle Auswirkungen von additiven Verfahren auf den Arbeitsmarkt	65
4.1	Die industriellen Revolutionen	65
4.2	Neue Branchen und Tätigkeitsfelder	68
5	Externe Einflussfaktoren	71
5.1	Trends	72
5.1.1	DIY	73
5.1.2	Maker	74
5.2	Finanzielle Förderprogramme.....	75

6	Empirischer Teil	77
6.1	Vorgehensweise der Erhebung	77
6.2	Konzeption des Fragebogens	77
6.3	Zielgruppen und Teilnehmer.....	80
6.4	Interpretation der wichtigsten Ergebnisse.....	80
6.5	Externe Umfragen und Interviews (Sekundärforschung).....	86
7	Systematische Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	89
7.1	Konsumverhalten.....	89
7.2	Wertschöpfungs-/ Lieferketten.....	90
7.3	Neue Wettbewerber	93
7.4	Produktentwicklung.....	94
7.5	Politische Herausforderungen	95
7.6	Umsatzprognose 3D-Drucker	96
7.7	Restriktionen	97
7.8	Zusammenfassung der Auswirkungen	98
8	Fazit	102
9	Literaturverzeichnis	105
9.1	Monographien	105
9.2	Internetquellen.....	108
10	Anhang	123
10.1	Interessante Links zum Thema.....	124
10.2	Komplexes System: Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt	125
10.3	Fragebogen	129
10.4	Ergebnisse Datenerhebung	131
10.5	Beispiele der privaten Anwendung.....	141

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschichte 3D-Drucker.....	7
Abbildung 2: SLS Druckverfahren	10
Abbildung 3: 3D-Printing Druckverfahren.....	12
Abbildung 4: Fused Deposition Modeling Druckverfahren.....	14
Abbildung 5: Steriolithografie Druckverfahren.....	15
Abbildung 6: Multi Jet Modeling.....	17
Abbildung 7: Technologien im Überblick	18
Abbildung 8: Beispiel der komplexen Formungsmöglichkeiten	20
Abbildung 9: Einlasskühlersystem von Rennautos.....	28
Abbildung 10: 3D-Auto Strati von Local Motors	29
Abbildung 11: Hexagon des 3D-Druck - Technologie und Potenziale	30
Abbildung 12: EADS - Türscharnier.....	32
Abbildung 13: Das 3D-Abendkleid von Dita von Teese	38
Abbildung 14: Beispiel Electroloom Alpha	39
Abbildung 15: Zoetrope Skulptur von John Edmark	41
Abbildung 16: Endless Collection Dirk van der Kooij	42
Abbildung 17: Goldener Ring aus dem Drucker von Nervous System.....	44
Abbildung 18: Komplexe Süßigkeit von Katjes	46
Abbildung 19: Brille aus Ultimate von Privatanwender Acit Haze	51
Abbildung 20: Modell einer Turbine von Privatanwender Acit Haze	52
Abbildung 21: Anwendungsbereich Additive Fertigung	64
Abbildung 22: Überblick Industrielle Revolutionen.....	66
Abbildung 23: Ergebnisse Frage 5: Bedeutung der additiven Fertigung.....	81
Abbildung 24: Ergebnisse Frage 7: Wird die Technik Jobs kosten? n=17	83
Abbildung 25: Ergebnisse Frage 8: Technische Revolution oder überschätze Innovation ...	85
Abbildung 26: Eigene Darstellung Umsatzerwartungen 3D-Drucker	96
Abbildung 27: Komplexes System: Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt	100

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
3dp	3D-Printing
Abb.	Abbildung
BMW	Bayerische Motorenwerke
Bzw.	Beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer-aided design
Clip	Continous Liquid Interface Production
cm	Zentimeter
DIY	Do it yourself
d.h.	das heißt
E&Y	Ernst & Young
EU	Europäische Union
Ebd.	Ebenda
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
F&E	Forschung und Entwicklung
ggf.	Gegebenenfalls
IHK	Industrie und Handelskammer
ISS	International Space Station
IT	Informationstechnik
km	Kilometer
KMU	Kleine- und mittelständige Unternehmen
LKW	Lastkraftwagen
mm	Millimeter
o.D.	ohne Datum
o.O.	ohne Ort
PC	Personal Computer
PLA	Polyactide
sog.	so genannt
STL	Stereolithografie
SLA	Stereolithografie

SLS	Selektives Lasersintern
SLM	Selektives Laserschmelzen
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
m	Meter
MJM	Multi Jet Modeling
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NC	Numerische Steuerung
UV	Ultraviolett
v.Chr.	vor Christus
VW	Volkswagen
VR	Virtual Reality
WASP	World's Advanced Saving Projekt
z.B.	Zum Beispiel
z.T.	Zum Teil

1 Hinführung zum Thema

1.1 Ausgangssituation

Beinahe unbemerkt hat die 4. industrielle Revolution begonnen. Autopiloten landen bereits Flugzeuge, steuern LKW und Fahrzeuge. Das Ausliefern von Briefen, Pizzen und Paketen mittels Drohnen ist bereits in der Testphase. Additive Verfahren (3D-Druck) ermöglichen eine ortsunabhängige Produktion, sowohl für die Industrie als auch für Privatanwender.¹ „Und während Gewerkschaften noch über einen angemessenen Mindestlohn für Reinigungskräfte diskutieren, experimentieren die ersten Firmen mit Fensterputz- und Toilettenreinigungsmaschinen. Staubsaugerroboter gibt es in Elektromärkten ohnehin schon ab 89 Euro.“²

Die Verschmelzung der Grenzen zwischen der physikalischen, der digitalen sowie der biologischen Sphäre, also eine Kombination von Automatisierung, Robotik und Digitalisierung, welche die 4. industrielle Revolution definiert, könnte die Wirtschaftswelt als Ganzes derart überraschen und fundamental verändern, dass – wie Experten prognostizieren – der komplette Arbeitsmarkt erschüttert werden könnte.^{3,4}

„Die Angst vor dem Jobkiller ‚Fortschritt‘ ist so alt wie der Fortschritt selbst.“⁵ Die Vergangenheit zeigte jedoch auch, dass trotz der Rationalisierung von Arbeitsplätzen aufgrund industrieller Revolutionen, sich neue, kreative und anspruchsvollere Evolutionsstufen von Berufsfeldern entwickeln konnten.

Gleichwohl sind Schlagzeilen wie „Roboter in der Wirtschaft – Millionen Jobs fallen weg“ in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) zu finden.

Im Begriff des Roboters mitinbegriffen, findet insbesondere der 3D-Drucker im Bericht der FAZ, als Bestandteil der vierten industriellen Revolution, Erwähnung.

¹ Wenn in dieser Arbeit von Privatanwender, Mitarbeiter, Experten, oder anderen Personen gesprochen wird, sind immer gleichermaßen Frauen und Männer gemeint. Der Verzicht auf geschlechtsspezifische Differenzierung soll allein die Lesbarkeit verbessern.

² Spiegel Online – Die Jobfresser kommen (o.D.)

³ Vgl. SWR2 – Wie 3D-Druck die Produktion verändert (2016)

⁴ Vgl. Handelsblatt – Die Vierte industrielle Revolution (2016)

⁵ Karriere.de – Digitalisierung: Angst vor dem Jobkiller Fortschritt (2015)

Im Rahmen einer Prognose wird erklärt, dass sich der Arbeitsmarkt gewaltig verändern wird, was Millionen überflüssige Arbeitsplätze zur Folge hätte.⁶

Von besonderer Bedeutung in diesem Kontext ist, in welchem Maß die additiven Verfahren (3D-Druck) zu dieser Entwicklung beitragen und wie es sich auf den Wirtschaftsstandort Deutschland auswirken wird, wenn nahezu jeder Privatanwender technisch dazu in der Lage wäre, Produkte selbst herzustellen.

Laut einer Studie von Ernst & Young (E&Y) ist Deutschland weltweit führend im Umgang mit 3D-Druckern und aufgrund dessen gut vorbereitet auf zukünftige Entwicklungen.⁷ Dennoch droht dem Mittelstand eine Zweiklassen-Gesellschaft im Bereich der Digitalisierung, da KMU häufig in Rückstand geraten.^{8,9}

Das Ziel dieser Masterthesis besteht darin, einen generellen Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand der additiven Verfahren zu geben, sowie deren Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt beurteilen zu können. Besonders die Erstellung einer Prognose steht im Fokus dieser Arbeit. Die möglichen Auswirkungen werden anhand von Statistiken, Studien, Beispielen und einer Umfrage dargestellt.¹⁰

⁶ Frankfurter Allgemeine – Roboter in der Wirtschaft – Millionen Jobs fallen weg (2016)

⁷ Vgl. E&Y – Deutsche Unternehmen führend beim Einsatz von 3D-Druck (2016)

⁸ Vgl. ebd.

⁹ Vgl. Frankfurter Allgemeine - Lindert die Digitalisierung den Fachkräftemangel? (2016)

¹⁰ Diese Arbeit kann nicht für sich in Anspruch nehmen eine vollständige Darstellung und Analysen aller überhaupt in Betracht kommenden Einflussfaktoren zu gewährleisten. Sie soll vielmehr einen generellen Einblick in die Problematiken bieten.

1.2 Methodischer Ablaufplan

Im vorherigen Abschnitt wurde auf die Aktualität des Sachverhaltes verwiesen, die Zielsetzung dieser Arbeit sowie das Vorgehen dargestellt. Es wurde ein Verständnis für die Notwendigkeit dieser Thesis entwickelt. Im zweiten Kapitel „Grundlagen der additiven Fertigung“ werden die Schlüsselbegriffe definiert, um ein einheitliches Verständnis zu gewährleisten und so auch Sachkundigen einen Einblick in die Thematik zu ermöglichen. Zudem werden, neben der geschichtlichen Entwicklung, die gängigsten Druckarten vorgestellt, um zu verdeutlichen, dass es nicht den „einen 3D-Druck“ gibt. Des Weiteren werden die Unterschiede im Vergleich zu herkömmlichen Produktionsmethoden dargestellt.

Im dritten Schritt der Untersuchung „3D-Druck in praktischen Anwendungs-bereichen“ wird anhand verschiedener Branchen aufgezeigt, inwiefern die additiven Verfahren bereits Einzug in die Wirtschaft und Gesellschaft gefunden haben. Diese Beurteilung wird, jeweils im Hinblick auf beide Gruppen, mit der Darstellung der Vor- und Nachteile sowie den allgemeinen Angaben zu Einsparungen und Umsatz abgerundet. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend, werden unter Kapitel 4 die „Aktuellen Auswirkungen von additiven Verfahren auf den Arbeitsmarkt“, auch mit Bezug zu den industriellen Revolutionen, in Form neuer Tätigkeitsprofile abgebildet. Trends und Förderungen sind wichtige Faktoren für das Marktpotenzial eines Produktes, was dazu veranlasst, eine genauere Analyse dieser Bereiche in Kapitel 5 „Externe Einflussfaktoren“ durchzuführen.

Im sechsten Kapitel „Empirischer Teil“ werden die gesammelten Ergebnisse durch eine eigens für diese Arbeit durchgeführte Umfrage bestätigt oder in Frage gestellt. Des Weiteren werden Trends auf Expertenebene aufgezeigt.

Das Kapitel 7 „Systematische Auswertung und Interpretation der Ergebnisse“ beinhaltet die Erkenntnisse, welche anhand der vorgelagerten Recherchen erbracht wurden, deren Auswertung und eine Darstellung der Konsequenzen, bzw. Auswirkungen anhand eines komplexen Systems. Schließlich fasst das letzte Kapitel „Fazit“ die Arbeit zusammen und gibt dem Leser neben dem Überblick der Ergebnisse einen Blick in die Zukunft in Form einer Prognose.

2 Grundlagen der additiven Fertigung

2.1 Definition der Schlüsselbegriffe

2.1.1 3D-Drucker

„Der 3D-Drucker ist eine Art Roboter also eine Maschine die in der Lage ist, mit Hilfe eines Computers und eines virtuellen 3D-Modells, reale Objekte zu erschaffen.“¹¹ Einfach ausgedrückt, lässt sich ein 3D-Drucker als eine Art Heißklebepistole beschreiben, die in unmittelbarer Herstellung kontrolliert Schicht für Schicht zu dreidimensionalen physischen Objekten klebt.

Generell hat sich der Begriff „3D-Drucker“ als Schlagwort für die additive Fertigung etabliert, besonders im Volksmund sowie dem semi-professionellen Bereich. Jedoch ist das dreidimensionale Drucken nur einer von vielen Prozessen innerhalb der additiven Verfahren, wenn auch der Bekannteste.

2.1.2 Additive Fertigung

Die additive Fertigung, auch generative Fertigung genannt, beschreibt einen Prozess, bei dem auf Basis von digitalen 3D-Konstruktionsdaten (CAD), die Objekte durch das Auf- oder Aneinanderfügen von Materialien schichtweise hergestellt werden. In der Literatur sowie in dieser Arbeit wird es als Synonym, bzw. Überbegriff für das Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Rapid Manufacturing genutzt.^{12,13,14}

¹¹ 3D-Druck Agentur Berlin – Alles über 3D-Druck (2017)

¹² Vgl. Gebhard: Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing, Hanser Verlag, München, 2008, S.2

¹³ Vgl. Berger: Additive Fertigungsverfahren, Verlag Europa Lehrmittel, Haan-Gruiten, 2013, S.3

¹⁴ Vgl. e-Manufacturing Solutions – Additive Fertigung, Laser-Sintern und industrieller 3D-Druck – Vorteile und Funktionsprinzipien (2017)