



Christian Theuermann

## **Advanced Manufacturing – Der Beitrag der 3D-Drucktechnologie zur Industrie 4.0 für österreichische Unternehmen**

120 – Digital Business Transformation – Open Innovation, neue Geschäftsmodelle, Produktivitätssprünge und neue Arbeitsformen im digitalen Zeitalter

### **Abstract**

Heute stehen wir mitten im Prozess der digitalen Revolution, dem zweiten Maschinenzeitalter. Kennzeichnend dafür ist die intelligente bzw. digitale Vernetzung aller Teilnehmer an der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen. Die Bedeutung von Industrie 4.0-Lösungen wird in den nächsten Jahren erheblich zunehmen und die Digitalisierung von Wertschöpfungsketten wird das unternehmerische Umfeld prägen. Neue, intelligente, vernetzte und effiziente Produktionstechniken erobern die Fabrikhallen und digitalen Fabrikatoren – 3D-Drucker und verwandte Technologien (additive manufacturing, rapid prototyping, fabber etc.) – haben das Potenzial den Produktionsprozess radikal zu flexibilisieren. Die Auswirkungen finden ihren Niederschlag nicht nur im Bereich der Smart Production, der Logistik 4.0, einer transformierten Einkaufsorganisation, vielmehr ist die gesamte Wertschöpfungskette betroffen. Im Rahmen einer österreichweit durchgeführten Praxisstudie wurde der Einfluss, die Bedeutung und der aktuelle Reifegrad der Industrie 4.0, mit besonderem Fokus auf die 3D-Drucktechnologie, in österreichischen Industrie- und Dienstleistungsunternehmen erhoben, sowie deren Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung zu den additiven Fertigungsverfahren.

### **Keywords:**

Industrie 4.0, Digitale Transformation, Smart Production, Additive Fertigungsverfahren, 3D-Druck

### **Einleitung**

Nach der ersten industriellen Revolution durch die Entwicklung der Dampfmaschine und der Mechanisierung von Handarbeit durch Maschinen zu Beginn des 19. Jahrhunderts, der zweiten industriellen Revolution durch die Nutzung elektrischer Energie um 1870 und der dritten industriellen Revolution ab 1970, welche die Automatisierung von Produktionsprozessen durch den Einsatz von

Elektronik und IT brachte, steht aktuell die Ära der vierten industriellen Revolution an. Heute stehen wir mitten im Prozess der digitalen Revolution, dem zweiten Maschinenzeitalter. Kennzeichnend dafür ist die intelligente bzw. digitale Vernetzung aller Teilnehmer an der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen.

Die Bedeutung von Industrie 4.0-Lösungen wird in den nächsten Jahren erheblich zunehmen und die Digitalisierung von Wertschöpfungsketten wird das unternehmerische Umfeld prägen. Neue, intelligente, vernetzte und effiziente Produktionstechniken erobern die Fabrikhallen und digitalen Fabrikatoren – 3D-Drucker und verwandte Technologien (additive manufacturing, rapid prototyping, fabber etc.) – haben das Potenzial den Produktionsprozess radikal zu flexibilisieren.

Für zukunftsorientierte Unternehmen ist es bedeutend, die Geschäftsmodelle im Kontext der Industrie 4.0 weiterzuentwickeln und das Produkt- und Dienstleistungsportfolio unter Einbeziehung der Digitalisierung zu optimieren. Eine Schlüsselfunktion kommt dabei den additiven Fertigungsverfahren<sup>1</sup> zu. Dadurch ergeben sich gravierende Änderungen in internen und externen unternehmerischen Funktionsbereichen und es entsteht eine neuartige Qualität der Zusammenarbeit – Wertschöpfungsketten transformieren sich zukünftig zu digitalen Wertschöpfungsnetzwerken (THEUERMANN / LUTZMAYR 2016: S. 1). Die Auswirkungen finden ihren Niederschlag nicht nur im Bereich der Smart Production, der Logistik 4.0, einer transformierten Einkaufsorganisation, vielmehr ist die gesamte Wertschöpfungskette betroffen.

Im Rahmen einer österreichweit durchgeführten Praxisstudie<sup>2</sup> wurde der Einfluss, die Bedeutung und der aktuelle Reifegrad der Industrie 4.0, mit besonderem Fokus auf die 3D-Drucktechnologie, in österreichischen Industrie- und Dienstleistungsunternehmen erhoben, sowie deren Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung zu den additiven Fertigungsverfahren.

### **Industrie 4.0 als Treiber der Flexibilisierung und Individualisierung im unternehmerischen Produktionsprozess**

Neue intelligente Produktionstechniken erobern die Fabrikhallen – Industrielle Revolution (PETRICK / SIMPSON 2013: S. 1-6). Smart Production und das Additive Manufacturing als spezifischer Herstellungsprozess mittels des 3D-Druckers, führt weg von der zentralen Fertigung von Gütern in Fabriken, die sich nur bei hohen Stückzahlen rechnen, hin zu einer verteilten Produktion, bei der die 3D-Drucktechnologie komplette Produktionsstraßen und Montagefließbänder ersetzen kann. Klassische Branchengrenzen verschwinden, es entstehen neue, übergreifende Handlungsfelder und Kooperationsformen, welche sich in erheblichem Maße auf die Wertschöpfungskette von Unternehmen auswirken (DOMSCHEIT-BERG 2016).

<sup>1</sup> Die Technologie existiert schon seit einigen Jahren und viele verschiedene Industrien arbeiten bereits damit – allen voran der Flugzeugbau kann hier als führender Industriezweig genannt werden. Weltweit gibt es bereits zahlreiche namhafte Unternehmen, die ihre Produktion durch 3D-Druck aufwerten. General Electric macht in der Produktion von Düsentriebwerken, medizinischen Geräten und Bauteilen für Haushaltsgeräte Gebrauch von dieser Technologie. Boeing verwendet die 3D-Drucktechnik für die Luftfahrt, Google für die Herstellung von Unterhaltungselektronik. Weitere Beispiele sind Zahnspangen von Invisalign oder Linsen für Leuchtdioden von Luxexcel.

<sup>2</sup> Die befragten Unternehmen wurden in sieben grundlegende Branchen geclustert. Der Untersuchung liegt eine ausgewogene Branchenverteilung zugrunde, weshalb auch branchenübergreifende Rückschlüsse und Interpretationen möglich sind. Es wird somit ein ganzheitliches Bild zum aktuellen Stand der 3D-Drucktechnologie und deren Einsatz in der österreichischen Unternehmenspraxis dargestellt. Die kompletten Studienergebnisse sind unter <https://www.campus02.at/rechnungswesen/projekt/industrie-4-0/> ersichtlich und ausgewählte Bereiche und Ergebnisse dieser empirischen Erhebung sind Bestandteil dieses Artikels.

3D-Druck – Der zukünftige Techniktrend (PUCHLEITNER 2016: S. 38)? Dadurch, dass jede Produkteinheit unabhängig voneinander gefertigt wird, kann sie ohne großen Aufwand an verbesserte Konzepte, spezielle Wünsche, andere Bedürfnisse oder neue Modeströmungen angepasst werden. Außerdem ist der Aufwand für den Aufbau des Produktionsumfelds bei weitem nicht so hoch, wie bei herkömmlichen Produktionsverfahren. Diese Vorteile spiegeln sich vor allem in der Tatsache wieder, dass die bis jetzt am weit verbreitetsten Anwendungsgebiete in der Produktion von Einzelprodukten, Prototypen und von speziellen Ersatzteilen liegen. Doch auch für größere Produktionsmengen wird diese Technologie zunehmend sinnvoll, da Unternehmen somit in der Lage sind, ohne erhebliche Mehrkosten, den Kunden eine wunschgemäße Fertigung mit einer großen Vielfalt an Formen, Farben und Größen zu bieten. Des Weiteren ist es möglich, Erzeugnisse in einem Stück zu fertigen, ohne wie bisher eine erhebliche Anzahl an separaten Bauteilen herzustellen und dann zusammensetzen zu müssen (D’AVENI (2015): S. 18 ff.) Nicht zuletzt lassen sich mittels 3D-Druck auch Geometrien herstellen, die mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nur sehr aufwändig oder unter Verwendung von Spezialwerkzeugen möglich wären. Es wird dadurch beispielsweise möglich, die Bauteilstärken auf die Kraftlinien der Belastung abzustimmen, damit ist auch extremer Leichtbau möglich (CHUA et al. 2010: S. 382).

### **Die 3D-Drucktechnologie als wichtiger Bestandteil des Advanced Manufacturing**

Welchen Einfluss, welche Bedeutung und welchen Reifegrad die 3D-Drucktechnologie, in österreichischen Industrie- und Dienstleistungsunternehmen aktuell hat und zukünftig einnehmen kann sind mannigfaltig. Es zeigt sich jedoch klar, dass der 3D-Drucker ein wesentliches Element der Smart Production darstellt. Intelligente Produktion als Treiber der Flexibilisierung und Individualisierung in der Produktion und Dienstleistungsbranche haben durch den Einsatz der 3D-Drucktechnologie das Potenzial, ganze Fertigungsketten von Unternehmen zu revolutionieren. Die Digitalisierung der klassischen Wertschöpfungskette wird zur globalen Herausforderung, in denen das Advanced Manufacturing zum Wegbereiter und Enabler bei der Umgestaltung der Supply Chain Kette und der Flexibilisierung in den Produktionsprozess von Unternehmen wird.

Unter Umständen verschiebt die Einführung der 3D-Drucktechnologie den Schwerpunkt – weg vom Betrieb der Produktionsanlage und dem Supply Chain Management hin zu vermehrtem Engineering und detaillierterer Produktionsplanung (THEUERMANN / LUTZMAYR 2016: S. 8 f.).

Zentrale Entwicklungen und Tendenzen im Advanced Manufacturing unter Einbeziehung der 3D-Drucktechnologie können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die additiven Fertigungsverfahren verkürzen die Zeit zwischen der Fertigstellung einer Konstruktionszeichnung, dem Produktionsbeginn und der Verfügbarkeit erster Produkte. Dies führt in weiterer Folge zu einer Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette.
- Die unternehmerischen Grenzen verschwimmen immer mehr. Die 3D-Drucktechnologie lässt die Unternehmensbereiche näher zusammenrücken. Entwicklung, Produktion und Beschaffung werden Enger miteinander verflochten.
- Die Unternehmen gehen davon aus, dass die Bedeutung der additiven Fertigungsverfahren zukünftig erheblich zunehmen wird und diese Technologie die gesamte Unternehmensstruktur beeinflussen wird.

## Additive Manufacturing ist in der Unternehmenspraxis angekommen und verfügt über ein erhebliches Wachstumspotenzial

Der 3D-Druck hat die Experimentierphase verlassen und die erfolgreiche Integration der 3D-Drucktechnologie führt zu Veränderungen in der Unternehmensorganisation. Wie weit diese reichen, hängt davon ab, an welcher Stelle in der Wertschöpfungskette der 3D-Druck eingesetzt wird und wie tief die Integration geht.

Der industrielle Anwendungsgrad des 3D-Druckers zeigt, dass derzeit ca. 35 % der Unternehmen bereits Erfahrungen (Einsatz, Anwendung, Technik) mit der additiven Fertigung haben. Weitere 29 % der Unternehmen sehen hierbei für die eigene Anwendung zukünftig ein interessantes Einsatzgebiet. Somit zeigt sich eindeutig, dass ca. 2/3 der Unternehmen dem Einsatz der 3D-Drucktechnologie sehr positiv gegenüberstehen, wodurch zukünftig mit einem verstärkten Einsatz der generativen Fertigungsverfahren zu rechnen ist.

Die 3D-Drucktechnologie kann hier mit einem in der Produktion immer wichtiger werdenden Vorteil gegenüber der klassischen Fertigung punkten – der Flexibilität. Insgesamt hat mehr als ein Drittel der Unternehmen eine positive Affinität zur 3D-Drucktechnik und charakterisiert diese als wertschaffend, da dadurch eine Verbesserung in den Produktionsprozessen erreicht werden kann.

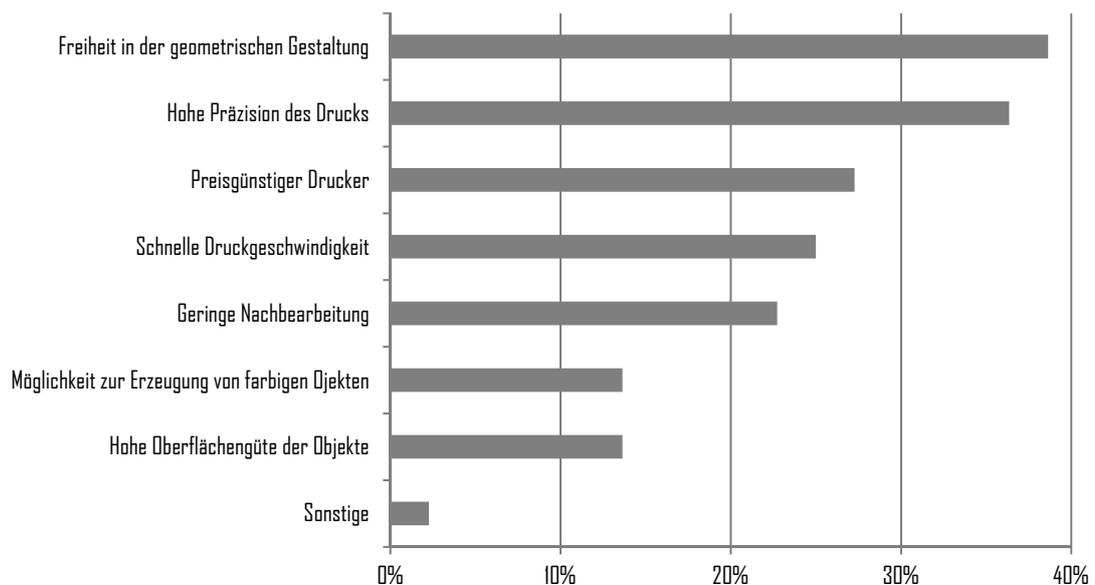


Abbildung 1: Identifizierte Vorteile der 3D-Drucktechnologie im Produktionsprozess (Mehrfachnennungen möglich)

Die wesentlichen Vorzüge, die sich aus dem Einsatz der 3D-Drucktechnologie in den Unternehmen ergeben, sind vielfältig, wobei die Freiheit in der geometrischen Ausgestaltung der Druckobjekte (39 %) und die hohe Präzision, welche durch dieses Fertigungsverfahren (36 %) erzielt werden kann die am häufigsten genannten Vorteile sind. Weiters zeigt sich, dass die 3D-Drucktechnologie in der Fertigung zu einem geringeren Nachbearbeitungsaufwand, einer hohen Oberflächengüte, zur Flexibilisierung in der Fertigung führt und geringere Produktionskosten gegenüber Spritzguss bei kleiner Losgröße aufweist. Insgesamt lässt sich dadurch der Fertigungsprozess in gewissen Bereichen wesentlich optimieren und der 3D-Druck ist für komplexe Arbeiten ideal geeignet.

Mögliches Zukunftsszenario – Die Fabrikhalle von morgen ist ein einzelnes Gerät: 3D-Drucker ermöglichen die schnelle und präzise Produktion komplexer und leichter Bauteile. Der Industrie bietet das additive Fertigungsverfahren dadurch zahlreiche Vorteile und wirkt sich auch auf die Fertigungstiefe in den Unternehmen aus. Dass durch den Einsatz der 3D-Drucktechnologie eine Optimierung bei den Kosten erzielt werden kann wird von den Unternehmen grundsätzlich positiv gesehen. So sind insgesamt 64 % der Studienteilnehmer der Ansicht, dass Kosteneinsparungs- bzw. Optimierungspotentiale realisiert werden können. Dies auch dadurch, dass die Flexibilität gesteigert wird und zB. der Einkauf damit kurzfristig Alternativen präsentieren kann und somit Einsparungen im Einkauf realisiert werden und Transportkosten analog reduziert werden können. Die gezielte Optimierung der Lagerhaltung ist ein weiterer nicht zu vernachlässigender Kostenreduktionsfaktor, da Ersatzteile vor Ort und bei Bedarf gefertigt werden können, somit ergibt sich auch zusätzlich ein positiver Effekt auf das Working Capital Management.

Die additiven Fertigungsverfahren verkürzen die Zeit zwischen der Fertigstellung einer Konstruktionszeichnung, dem Produktionsbeginn und der Verfügbarkeit erster Produkte, wodurch der gesamte Produktionsablauf leistungsfähiger wird.



Abbildung 2: Auswirkung des 3D-Druckers auf die Fertigungstiefe und die Produktion

Obige Darstellung (Abbildung 2) zeigt zudem, dass die Produktion durch den Einsatz von 3D-Druckern innovativer, leistungsfähiger und vor allem flexibler werden kann. Über 50 % der Studienteilnehmer sind auch der Auffassung, dass durch die 3D-Drucktechnik die Prozesse beschleunigt werden können. Nur für 3 % der Unternehmen trifft diese Aussage nicht zu. Insgesamt sind sich die befragten Unternehmen einig, dass der Einsatz eines 3D-Druckers durchaus erkennbare Vorteile in der Fertigung entstehen lässt, da vor allem Prozesse beschleunigt, die Produktion verbessert und flexibler gestaltbar wird.

## Die 3D-Drucktechnologie hat einen erheblichen Einfluss auf den zukünftigen Produktionsprozess

Die Erwartungshaltung bzgl. einer zunehmenden Bedeutung dieser Technik und die Auswirkung auf die jeweilige Branche zeigt, dass ein Großteil der Unternehmen (ca. 71 %) davon ausgeht, dass die Bedeutung für die jeweilige Branche zunehmen wird. Der 3D-Drucker ermöglicht es, neue Produkte mit neuen Eigenschaften zu fertigen und beschleunigt den Kreislauf von Konzeption, Prototypentwicklung und Produktion bis hin zu den vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsprozessen. Insgesamt gehen 59 % der Unternehmen davon aus, dass die 3D-Drucktechnik direkt oder indirekt einen Einfluss auf den zukünftigen Produktionsprozess haben wird.

Einig sind sich die Unternehmen, dass der Einsatz dieser Fertigungstechnologie auch Auswirkungen auf das Qualifikationsprofil bzw. das Know-how der Mitarbeiter haben wird. Hier sind 91 % (trifft zu und trifft eher zu) der Studienteilnehmer der Meinung, dass der Einsatz eines 3D-Druckers vertieftes technisches Fachwissen erfordert, aber auch entsprechende Fachkenntnisse zu den Materialien und deren Eigenschaften, welche zum Einsatz kommen sollen. Es zeigt sich hier also bereits eine eindeutige Erwartungshaltung seitens der Unternehmen, indem entsprechendes Fachwissen erforderlich ist bzw. aufgebaut werden muss.

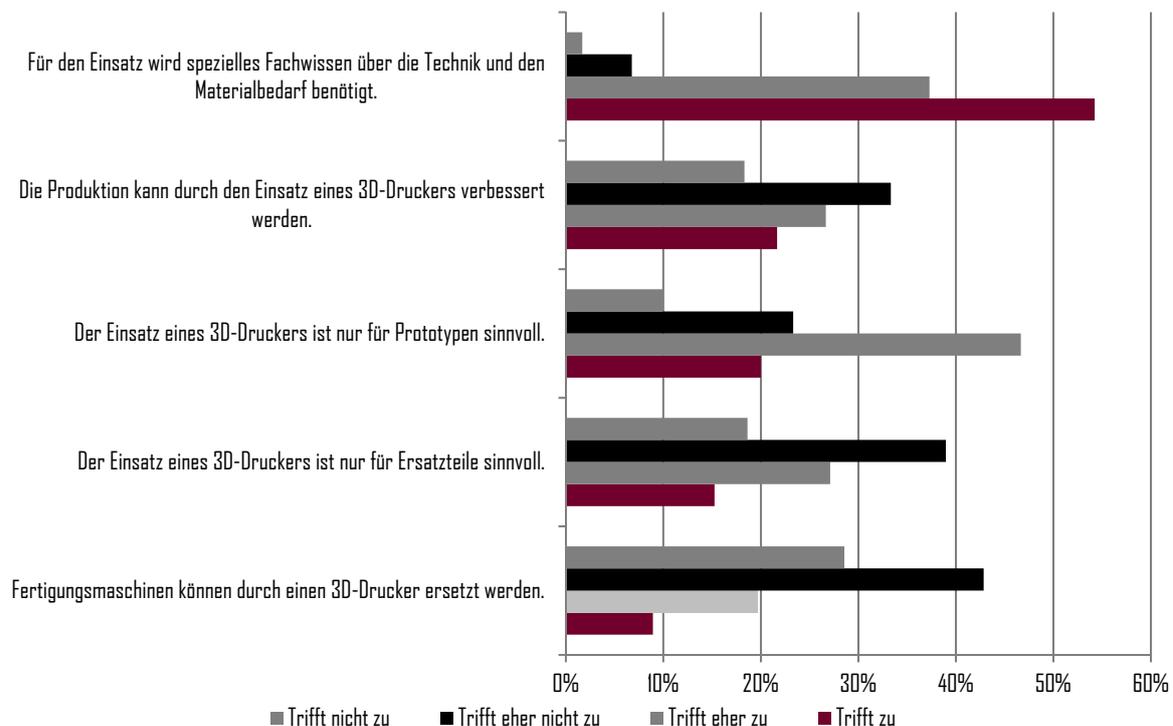


Abbildung 3: Auswirkung der 3D-Drucktechnologie auf den Produktionsprozess in Unternehmen

Aktuell sehen knapp 50 % der Unternehmen durch den Einsatz der 3D-Drucktechnologie ein Verbesserungspotenzial im Produktionsprozess. Eine eindeutige Tendenz ergibt sich durch den Einsatz dieser Technologie im Bereich der Prototypenfertigung. Mehr als 67 % der Unternehmen sehen den Einsatz der 3D-Drucktechnik in der Prototypenfertigung als wichtiges Anwendungsfeld und ca. 33 % gehen davon aus, dass der 3D-Drucker auch in anderen Bereichen an Relevanz gewinnen wird. Betrachtet man die Einsatzmöglichkeit hinsichtlich der Ersatzteilefertigung, so sehen 42 % der teilnehmenden Unternehmen hier das vordergründige Einsatzgebiet für die 3D-Drucktechnik. Jedoch erwarten 58 % der Unternehmen ein erweitertes Betätigungsfeld für den 3D-Drucker, welcher über die

Ersatzteilproduktion hinausgeht. Die Betrachtungsweise der Substitutionsfähigkeit der 3D-Drucktechnologie zeigt, dass die Unternehmen hier sehr wohl ein Potenzial (ca. 29 %) sehen, die Mehrheit der Studienteilnehmer (ca. 71 %) jedoch davon ausgeht, dass Fertigungsmaschinen nicht gänzlich ersetzt werden können. Somit rechnen die Unternehmen, dass in weiterer Folge eine bewusste Kombination aus den klassischen Produktionsmaschinen und den 3D-Druckern in der modernen Industrie die Fertigungsprozesse und -abläufe charakterisieren werden.

Additive Fertigungsverfahren erschließen neue Produktionsmöglichkeiten und machen die Produktionsprozesse mitunter leistungsfähiger, schneller, einfacher, effektiver, effizienter, nachhaltiger, preisgünstiger und kundengerechter (individueller) als die klassischen Fertigungsprozesse. Die Kundenindividualität kann noch stärker berücksichtigt werden, wodurch sich Wettbewerbsvorteile für innovative Unternehmen ergeben.

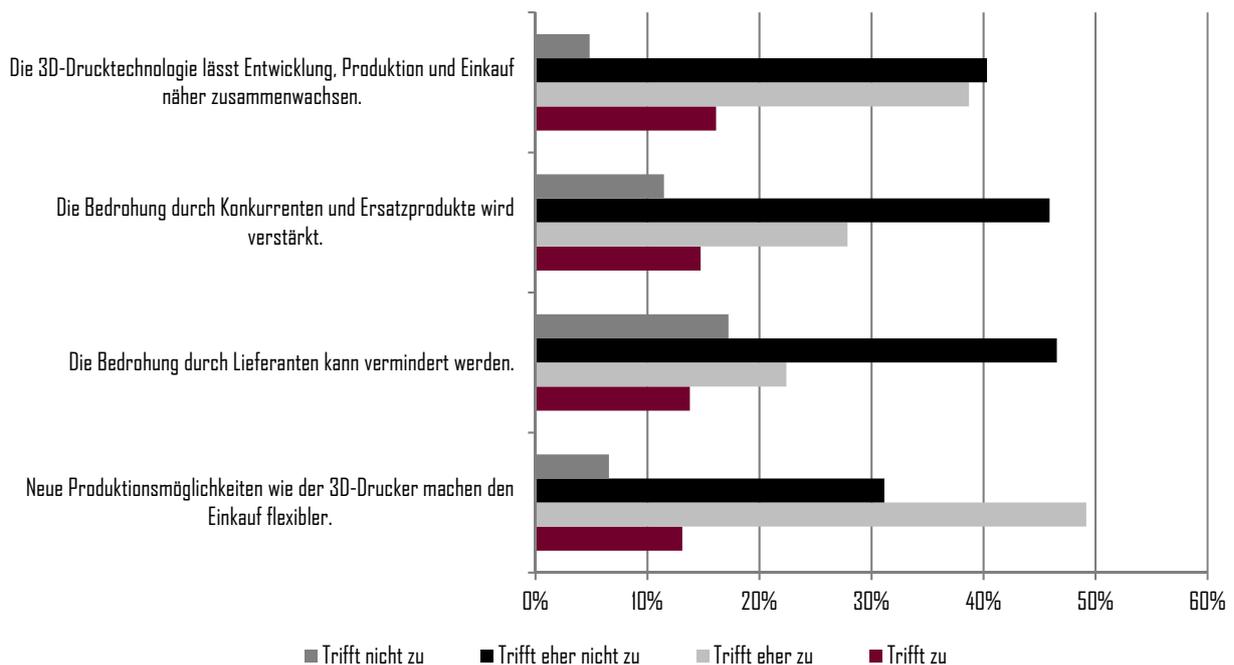


Abbildung 4: Potenzielle Wettbewerbsvorteile durch den Einsatz der 3D-Drucktechnologie

Eine engere Verflechtung der unternehmensinternen Bereiche (Produktion, Einkauf, Konstruktion, Controlling, etc.) sehen grundsätzlich mehr als 55 % der teilnehmenden Unternehmen, bei der Anwendung der 3D-Drucktechnik im Fertigungsprozess. Insbesondere der Bereich des Beschaffungscontrollings rückt vermehrt in den Fokus der zukünftigen Aktivitäten, da eine gesteigerte Flexibilisierung in der Produktion, eine effiziente und effektive Steuerung der Beschaffungsorganisation erfordert. So lassen diese Entwicklungen den Einkauf, die Entwicklung, die Qualitätssicherung, die Produktion und das Controlling näher zusammenwachsen, wodurch sich für Unternehmen auch zahlreiche Chancen in Form von Synergieeffekten (z.B. in der Materialentwicklung, Individualisierung der Produkte, Optimierung bzw. Verkürzung der Supply Chain, etc.) ergeben.

Der Einsatz der 3D-Drucktechnologie wird sich in weiterer Folge auch auf die Lieferantensituation in den Unternehmen auswirken. Insbesondere im Bereich des Rapid Prototyping ergeben sich hier neue Perspektiven für Unternehmen. Die Risikosituation, welche durch die Lieferantenbeziehungen auf die Unternehmen wirkt, lässt sich durch den Einsatz der 3D-Drucktechnik verbessern, wobei eine gänzliche Elimination des Lieferantenrisikos nicht realisierbar ist, da auch beim Einsatz des 3D-Druckers entsprechend neue Risikoaspekte (Verfügbarkeit des Materials, Technologierisiko etc.) entstehen. Dies

spiegelt auch die aktuelle Umfrage wieder, da ca. 63 % der Unternehmen davon ausgehen, dass eine merkliche Reduktion der Risiken, ausgehend von der Lieferantenseite nicht gänzlich reduziert werden können. Zumindest 37 % der Unternehmen sehen aber durch den Einsatz der 3D-Drucktechnik in der Unternehmung ein entsprechendes Potenzial, das Lieferantensisiko zu verringern.

Die 3D-Drucktechnologie macht den Einkauf flexibler und führen dazu, dass in gewissen Situation die Abhängigkeit von Lieferanten reduziert werden kann. Das der 3D-Drucker zu einer Steigerung der Flexibilität in der Beschaffungsorganisation führt, wird von ca. 62 % (trifft zu bzw. trifft eher zu) der untersuchten Unternehmen in Österreich bestätigt.

3D-Drucker haben das Potenzial, ganze Fertigungsketten von Unternehmen zu revolutionieren. Das generative Fertigungsverfahren erlaubt die Produkterstellung standortunabhängig und wird die globale Wertschöpfungskette beträchtlich beeinflussen. Die nächste Entwicklungsstufe stellt die gezielte Anwendung der 3D-Drucktechnik in der industriellen Fertigung dar. Die geeigneten Branchen für die 3D-Drucktechnologie verteilen sich quer durch das verarbeitende Gewerbe. Automotive und Aviation, Werkzeug- und Formenbau, Automatisierungstechnik, Maschinen- und Anlagenbau sowie Medizintechnik und Elektronik haben mehr oder weniger breite Anwendungs- bzw. Einsatzgebiete.

### Über die Studie

Welchen Einfluss, welche Bedeutung und welchen Reifegrad die Industrie 4.0, mit besonderem Fokus auf die 3D-Drucktechnologie, in österreichischen Industrie- und Dienstleistungsunternehmen aktuell hat und zukünftig einnehmen kann stellt den vordergründigen Untersuchungsbereich dieser Praxiserhebung dar. Die Erkenntnisse und Ergebnisse zeigen den gegenwärtigen Stand zur additiven Fertigung, sowie die zukünftige Erwartungshaltung der Industrieunternehmen.

Als Untersuchungsobjekte wurden in dieser Studie mittlere und große Unternehmen ausgewählt, die entweder dem produzierenden Gewerbe zugeordnet oder als in der Industrie tätige Dienstleistungsunternehmen kategorisiert werden können.

Die empirische Erhebung wurde anhand eines standardisierten Webfragebogens durchgeführt. Die Funktionsfähigkeit des gesamten Studiendesigns (THEUERMANN 2006: S. 324 ff.) wurde mittels eines Pre-Tests überprüft (ATTESLANDER 2003: S. 330). In dieser Studie wurde als Erhebungsart die Teilerhebung (siehe dazu BORTZ / DÖRING 2005: S. 398) ausgewählt. Für die Auswahl der Unternehmen, die befragt werden, wurde die einfache Zufallsstichprobe (siehe SCHNELL et al. 2005: S. 273 f.) herangezogen, welche für die Inferenzstatistik von besonderer Bedeutung ist. Durch die Methode des Stichprobefahrens wurden einzelne Stichprobenelemente (Erhebungseinheiten) aus der zuvor beschriebenen Grundgesamtheit entnommen. Mit deren Hilfe können Aussagen über die zu untersuchenden Unternehmen in Österreich gemacht werden. Die Erhebungseinheiten wurden nicht nach subjektivem Ermessen, sondern nach dem einfachen Zufallsprinzip bestimmt. Zufallsstichproben stellen die einzige Gewähr dafür dar, dass aus den Ergebnissen einer Stichprobe bezogen auf die Verteilung aller Merkmale, auf die Verteilung dieser Merkmale in der Grundgesamtheit geschlossen werden kann. Ein derartiger Repräsentationsschluss ist also nur dann zulässig, wenn der gewählte Auswahlmechanismus eine Zufallsauswahl ist (SCHNELL et al. 2005: S. 273 f.). Zur Bestimmung der benötigten Stichprobengröße stellt die moderne Statistik entsprechende Ermittlungsverfahren zur Verfügung (THEUERMANN 2006: S. 327). Um das festzustellen, wurde unter Berücksichtigung folgender Parameter (Stichprobenfehler: 3 %, Vertrauensniveau: 95 %, Verteilung der Antworten: 50 %) eine Mindeststichprobengröße von 528 Studienteilnehmer errechnet (Vgl. RÖBLER / UNGERER 2011: S. 118 ff.). Dieser empirischen Untersuchung liegt eine einfache Zufallsstichprobe von 650 Unternehmen, ausgehend von einer Grundgesamtheit von 1044 Untersuchungsobjekten zugrunde. Die

Stichprobengröße von 650 Untersuchungsobjekten (Auswahlstichprobe bzw. Bruttostichprobe<sup>3</sup>) führt unter Berücksichtigung von qualitätsneutralen ausfällen zu einer Nettostichprobe von 631 Studienteilnehmern und einem maximalen Stichprobenfehler von 2,45 %.

Die Datenerfassung und -auswertung kann als zentrales Element der empirischen Untersuchung aufgefasst werden. Während bzw. nach der Datenerhebung erfolgt eine genaue Rücklaufkontrolle der Fragebögen, wodurch sich eine entsprechende Nettorücklaufquote von 10,94 % für diese Studie ergeben hat. Abschließend erfolgte eine Validierung der Stichprobe unter Berücksichtigung der erzielten Response-Rate, um die Anforderungen an die Repräsentativität dieser Erhebung sicherzustellen.

## Literaturverzeichnis

Theuermann, C./Lutzmayr, D. (2016): Chancen, Herausforderungen und Bedeutung der Industrie 4.0 – Derzeitiger Einsatz und zukünftige Entwicklung des 3D-Drucks in Industrie- und Dienstleistungsunternehmen in Österreich, Graz: FH CAMPUS 02, Studienrichtung Rechnungswesen & Controlling

Petric, I.J./Simpson, T.W. (2013): 3D-Printing disrupts manufacturing – How economies of one create new rules of competition, in: Research-Technology Management, Arlington, November-December 2013, S. 1-6.

Domscheit-Berg, A. (2016): Autos und Häuser – Ausdrucken nicht vergessen, <http://www.managermagazin.de/unternehmen/it/3d-druck-wird-alle-industriezweigeum-krempeln-a-1039419.html>; [10.02.2016]

Puchleitner, K. (2016): Disruptive Economy: Wie Alles anders wird, in: trend Nr. 22/2016, S. 38-39.

D'aveni, R. (2015): 3D-Druck vor dem Durchbruch, in: Harvard Business Manager, 2015, Heft 7, S. 18-41.

Chua, C.K./Leong, K.F./Lim, C.S. (2010): Rapid Prototyping: Principles and Applications, 3rd Edition, World Scientific 2010.

Theuermann, C. (2006): Beyond Budgeting in technologieorientierten Unternehmen – Das Hybride Beyond Budgeting-Managementmodell, Verlag der Technischen Universität Graz, Graz 2006.

Atteslander, P. (2003): Methoden der empirischen Sozialforschung, 10., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin/New York 2003.

Bortz, J./Döring, N. (2005): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler, 3., überarbeitete Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2005.

Schnell, R./Hill, P.B./Esser, E. (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung, 7., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, München/Wien 2005.

Rößler, I./Ungerer, A. (2011): Statistik für Wirtschaftswissenschaftler: Eine anwendungsorientierte Darstellung, 2. überarb. Aufl., Berlin: Springer Verlag, 2011.

<sup>3</sup> Die im Untersuchungsdesign festgelegte Ausgangsstichprobe wird Bruttostichprobe genannt. Sie enthält alle für die Erhebung in Frage kommenden Personen, auch die, die nicht befragt werden können, z. B. auf Grund von Krankheit, schwerer Erreichbarkeit.