

R E P O R T

Der Einsatz von 3D-Druck in österreichischen Unternehmen

Bernhard Dachs (AIT Austrian Institute of Technology)

Jan Kraner (Hochschule Luzern Wirtschaft)

Christoph Hanisch (Hochschule Luzern Wirtschaft)

Oliver Som (Management-Center Innsbruck MCI)

Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	2
2 Entwicklungsstand additiver Fertigungsverfahren	2
3 3D-Druck in österreichischen Unternehmen	3
4 Der Einsatz von 3D-Druck in österreichischen und Schweizer Firmen	7
5 Fazit	9
6 Referenzen	10

Zusammenfassung

3D-Druck erlaubt es, dreidimensionale Gegenstände Schicht für Schicht aus flüssigen oder festen Werkstoffen zu fertigen. Das Verfahren gilt als „Zukunftstechnologie“, der zugetraut wird, die Spielregeln ganzer Wirtschaftszweige in Zukunft grundlegend zu verändern. Über den aktuellen Einsatz dieser Technologie in österreichischen Unternehmen war bisher allerdings wenig bekannt.

Die vorliegende Studie zeigt, dass 3D-Druck heute vor allem in größeren und F&E intensiven Unternehmen und im Prototypenbau eingesetzt wird. Die Elektro- und Elektronikindustrie und der Fahrzeug- und Maschinenbau sind Vorreiter im Einsatz dieser Technologie. Die Benutzer von 3D-Druck sind deutlich exportorientierter, produzieren häufiger komplexe Produkte, sind innovativer, entwickeln häufiger Marktneuheiten und beschäftigen einen höheren Anteil von Hochschul- und Fachhochschulabsolventinnen und -absolventen als Unternehmen die 3D-Druck nicht verwenden. Die Erzeugung von Prototypen ist in der Mehrzahl der Firmen der Einstieg in die 3D-Drucktechnologie. Nur wenige Firmen setzen 3D-Druck für die Fertigung ohne vorherige Erfahrung mit 3D-Druck für Prototypen ein.

Zwischen Schweizer und österreichischen Firmen gibt es beim Einsatz von 3D-Druck nur wenige Unterschiede. Insbesondere finden wir keine Hinweise auf einen etwaigen Rückstand oder Vorsprung eines der beiden Länder in dieser Technologie.

1 Einleitung

Manche Technologien verfügen über das Potential, die Spielregeln ganzer Wirtschaftszweige grundlegend zu verändern. Eine dieser Technologien ist additive Fertigung, auch als 3D-Druck bekannt. 3D-Druck erlaubt es, dreidimensionale Gegenstände Schicht für Schicht aus flüssigen oder festen Werkstoffen wie Pulver, Kunststoff oder Metall zu fertigen. Mit fallenden Kosten und steigender Leistungsfähigkeit von 3D-Druckern könnte die Technologie in Zukunft viele herkömmliche Produktionsprozesse ersetzen, besonders wo komplizierte Strukturen erzeugt werden. Außerdem könnten Produkte ohne Kostennachteil an dem Ort, wo sie gebraucht werden, erzeugt und so Produktionsaktivitäten wieder näher zu Kunden und Konsumenten gebracht werden. Damit würden Transportkosten wegfallen und die internationale Arbeitsteilung deutlich reduziert werden (Laplume et al., 2016). Der 3D-Druck könnte so auch neue Geschäftsmodelle, bei denen nicht mehr die Lieferung eines Produkts, sondern eine digitale Vorlage zur Produktion des Produkts im Mittelpunkt steht, entstehen lassen.

Solche Zukünfte sind derzeit allerdings noch Spekulation. Aktuell sind die Kosten des 3D-Drucks in der Serienproduktion trotz vielversprechender technologischer Fortschritte noch deutlich höher als bei gängigen Produktionsverfahren. Der Grund dafür liegt in der geringeren Produktionsgeschwindigkeit und in den Ausgangsmaterialien. So sind viele Maschinen nur mit bestimmten Materialien einzelner Hersteller betreibbar, was die Materialkosten um den Faktor 4-6 im Vergleich zu konventionellen Rohstoffen in die Höhe treibt. Ein weiterer Kostenfaktor ist die immer noch notwendige und zeitaufwändige manuelle Nachbearbeitung vieler additiv gefertigter Komponenten (Som et al. 2016). Heute wird die Technologie vor allem bei der Herstellung komplexer Strukturen aus den digitalisierten Daten bei minimaler Materialverschwendung verwendet. Ein zweites Anwendungsfeld ist die Produktentwicklung durch den Einsatz von Rapid Prototyping.

Dieser Bericht behandelt die folgenden Fragen:

- In welchem Umfang wird 3D-Druck heute bereits in den Unternehmen der österreichischen Sachgütererzeugung verwendet?
- Wie unterscheiden sich Unternehmen, die diese Technologie bereits verwenden, von anderen Firmen?
- Welche Unterschiede gibt es im Einsatz von 3D-Druck zwischen österreichischen und Schweizer Firmen?

2 Entwicklungsstand additiver Fertigungsverfahren

Generative Fertigungsverfahren wurden in den späten 1990er Jahren erstmals für industrielle Anwendungen entwickelt (Europäische Kommission, 2014; Som et al., 2016). Sie umfassen neben dem bekannten 3D-Druck weitere Verfahrensprozesse, wie z.B. Licht-Polymerisieren, Stereolithographie, Digital Light Processing, Selective Laser Melting, Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laminated Object Manufacturing und Directed Energy Deposition. 3D-Druck wird oft als Überbegriff für diese Verfahren verwendet. Es können verschiedene Materialien wie Kunststoff, Sand, Holz, Keramik, Papier, bis hin zu Stahl und anderen Metallen und Legierungen verarbeitet werden.

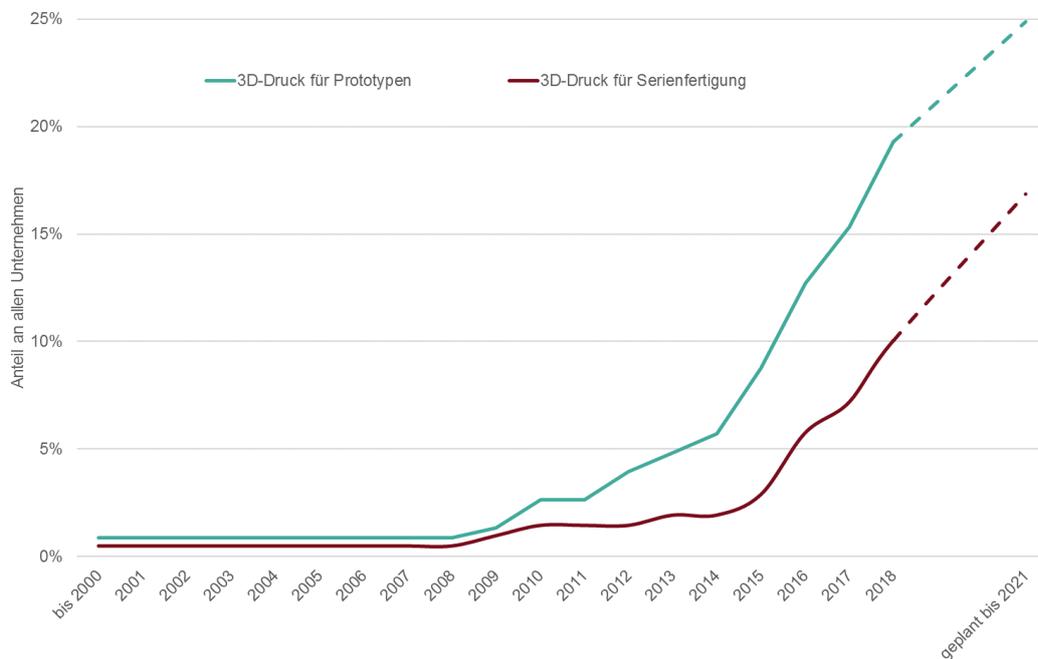
Der werkzeuglose 3D-Druck kann für verschiedene Zwecke genutzt werden. Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass damit verschiedene Designs rasch physisch erstellt werden können ohne die Spezifikationen, das Werkzeug, die Maschinen-Rüstung oder die Endeffektoren zu wechseln (Gebhardt, 2000; Hague, 2006). Weiters erlaubt 3D-Druck die flexible Fertigung selbst kleiner und komplexer Strukturen (Som et al., 2016). Materialeinsparungen von bis zu 70 Prozent (Wohlers Associates Inc., 2012) ermöglichen neue Spielräume für innovative Geschäftsmodelle (De Jong und De Bruijn, 2013). Auch kann der Lagervorrat deutlich reduziert werden, weil keine oder deutlich weniger Halbfabrikate gebraucht werden (Tuck und Hague, 2006). Auch Fortschritte bei Sensoren, Mikromechanik, Mechatronik, computerbasierten Modellierungen und Simulationen haben den 3D-Druck in den letzten Jahren deutlich leistungsfähiger gemacht.

Künftige Anwendungen von 3D-Druck im Bereich von Visualisierungsgegenständen, beim Design, bei der Herstellung kundenindividueller Produkte sowie industrieller Tools, Lösungen für Fertigungsteile kleiner Losgrößen sowie die Mass Customization sind realistisch (Som et al., 2016). Die Europäische Kommission (2016) erwartet zukünftige Anwendungen wie Ersatzteile für Maschinen, Beleuchtung und Hausdecoration, 3D-Textilien, kunststoffbasierte Autokomponenten, metallische Strukturelemente im Flugzeugbau, Implantate als Knochenersatz, Spritzgießformen, Verpackungen, ja sogar ganze Häuser zu drucken scheint in Zukunft möglich zu sein. Nichtsdestotrotz ist der Einsatz von 3D-Druck in der (Serien-)Fertigung immer noch in der Anfangsphase. Anwendungen von 3D-Druck wie Rapid Prototyping und Rapid Tooling sind bereits etabliert, auch wenn Experten schätzen, dass der 3D-Druck gängige Produktionsverfahren auch in den nächsten zehn Jahren nicht gänzlich ersetzen wird. Gründe dafür sind noch immer ungelöste technologische Herausforderungen, eine fehlende Bereitschaft die Technologie für die Serienfertigung zu verwenden sowie zu hohe Kosten (Som et al., 2016). Generell erreichen 3D-Druck heute noch nicht die erforderliche Leistungsfähigkeit, um als Produktionstechnologie für große Stückzahlen zu bestehen.

3 3D-Druck in österreichischen Unternehmen

3D-Druck ist nach wie vor eine recht junge Technologie, obwohl die ersten Anwendungen aus den 1990er Jahren stammen. Die Verbreitung von 3D-Druck hat nicht vor 2005 begonnen. Um das Jahr 2010 wurde die Technologie erstmals intensiver im Unternehmenssektor verwendet (Abbildung 1 unten). Dabei haben sich die beiden Anwendungsbereiche fast synchron, wenn auch unterschiedlich schnell entwickeln, wobei 3D-Druck im Prototyping deutlich häufiger eingesetzt wird. Etwa um das Jahr 2015 hatten rund 10% der Unternehmen 3D-Druck im Prototyping im Einsatz. Heute (2018) verwenden insgesamt etwa 22% aller Firmen der österreichischen Sachgütererzeugung mit 20 oder mehr Beschäftigten 3D-Druck. Die Investitionspläne der befragten Unternehmen zeigen, dass auch künftig mit Zuwächsen bei beiden Anwendungsfeldern gerechnet werden kann.

Abbildung 1: Einsatz von 3D-Druck in Österreich seit 2000 und Pläne für Investitionen bis 2021

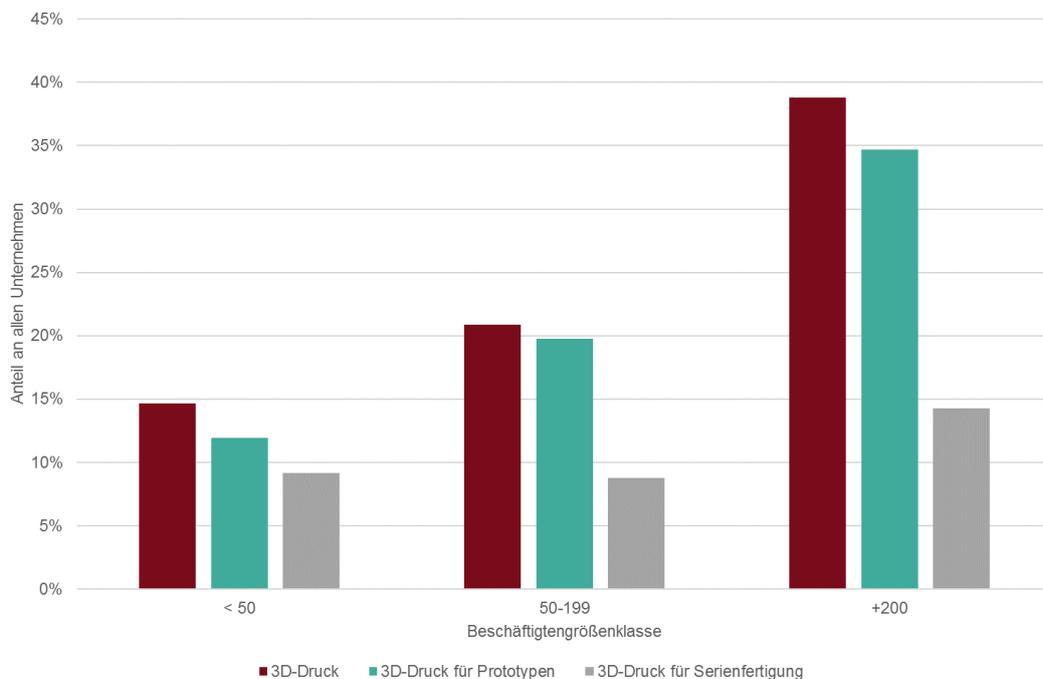


Quelle: EMS AT 2018

Die Anwender von 3D-Druck finden sich derzeit noch vorrangig unter den großen Firmen. Während 40% aller Unternehmen mit 200 oder mehr Beschäftigten diese Technologie verwenden, beträgt der Anteil bei Unternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten 15%. Diese Unterschiede bezüglich der Nutzung von 3D-Druck können vor allem auf die Anwendung im Prototyping zurückgeführt werden. Unternehmen mit 200 oder mehr Beschäftigten nutzen 3D-Druck im Prototyping fast dreimal häufiger als Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitern.

Deutlich geringer sind die Unterschiede zwischen großen und kleinen Firmen beim Einsatz von 3D-Druck in der Fertigung. Aber auch hier setzen größere Firmen mit 200 und mehr Beschäftigten 3D-Druck deutlich häufiger ein als kleinere Firmen mit weniger als 50 Beschäftigten. Die Investitionskosten von 3D-Druck im Prototyping, der meistens kunststoffbasiert ist, halten sich in einen überschaubaren Rahmen, sodass große Unternehmen die Kosten leicht übernehmen können auch wenn nur experimentiert wird. Dagegen sind die Investitionskosten beim Einsatz von 3D-Druck in der Fertigung durch die vergleichsweise größeren und komplexeren Maschinen (Selective Laser Melting etc.) höher, sodass solche Anlagen nur bei konkreten, wirtschaftlich vertretbaren Einsatzmöglichkeiten angeschafft werden. Eine weitere Erklärung könnte auch sein, dass kleinere Unternehmen eher kleinere Serien und größere Unternehmen eher komplexe Produkte (z. B. Maschinen), einfache Massenfabrikate sowie Halbfabrikate mittels 3D-Druck fertigen und somit größere Einsatzmöglichkeiten als mittelgroße Unternehmen haben.

Abbildung 2: Anteil von Firmen mit 3D-Druck nach Beschäftigtengrößenklasse, 2018



Quelle: EMS AT 2018

Die Korrelation zwischen 3D-Druck im Prototypenbau und 3D-Druck in der Fertigung ist mit 0.48 weniger hoch als erwartet. Wir können deshalb durchaus die beiden Anwendungsfelder von 3D-Druck als unterschiedliche Technologien ansehen. Dies wird auch unterstützt durch die Erkenntnis, dass Unternehmen in weniger F&E-intensiven Industrien eher 3D-Druck für die Fertigung einsetzen (vgl. Abbildung 3) als Industrien mit höherer F&E Intensität.

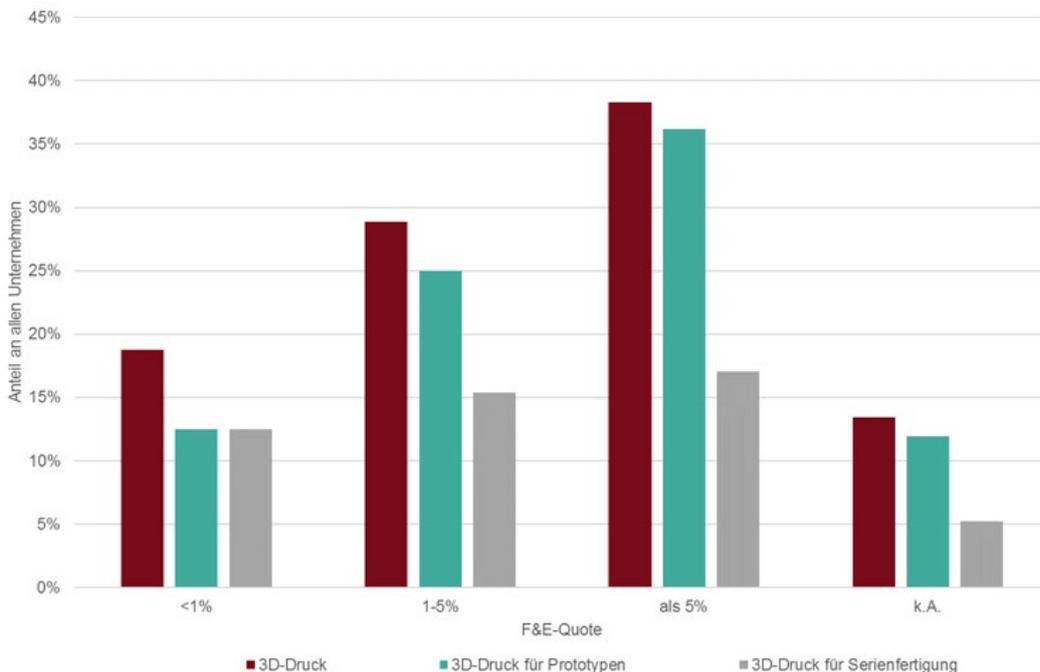
Der Vergleich von Firmen nach den beiden Anwendungsbereichen von 3D-Druck zeigt weiter, dass etwa 40% der Firmen, die 3D-Druck für Prototypen einsetzen, auch 3D-Druck in der Produktion verwenden. Umgekehrt verwenden aber 76% der Firmen, die 3D-Druck für Produktion einsetzen, auch

3D-Druck für Prototypen. Die Anwendung in der Produktion baut also in vielen Fällen auf die Erfahrungen die mit Prototypen gesammelt wurden auf. Die bestätigt sich auch dadurch, dass nur drei Prozent aller Firmen, die 3D-Druck nicht für Prototypen einsetzen, 3D-Druck in der Fertigung verwenden. Anwendungen von 3D-Druck für Prototypen sind also in den meisten Unternehmen die Basis für weitere Einsatzfelder.

Der Einsatz von 3D-Druck nimmt mit steigender F&E-Intensität der Unternehmen zu (Abbildung 3). Der Anteil an Firmen, die 3D-Druck nutzen, ist bei sehr F&E intensiven Unternehmen, wie sie z. B in der Elektronikindustrie und im Maschinenbau zu finden sind, höher als in weniger F&E intensiven Unternehmen wie sie oft in der Nahrungsmittel-, Papier und Holzindustrie zu finden sind. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, beträgt der Anteil an Firmen, die 3D-Druck nutzen, in weniger F&E-intensiven Unternehmen 19%. In sehr F&E-intensiven Unternehmen steigt dieser hingegen auf 38%. Es zeigt sich auch, dass Unternehmen die keine F&E betreiben oder keine Angaben zur Höhe ihrer F&E-Ausgaben gemacht haben deutlich seltener die hier besprochenen Technologien einsetzen.

Der Vergleich in Abbildung 3 zeigt auch, dass 3D-Druck von F&E-intensiven Unternehmen häufiger für Prototyping eingesetzt wird als von weniger intensiven-F&E Unternehmen. 3D-Druck ist hier ein Instrument zur Beschleunigung von Entwicklungsprozessen. Hingegen sind die Unterschiede zwischen F&E-intensiven und weniger F&E-intensiven Firmen beim 3D-Druck in der Fertigung deutlich geringer, was möglicherweise auf die oben angesprochenen höheren Eintrittskosten zurückzuführen ist, die den Einsatz erst in wenigen Anwendungsbeispielen rentabel machen. Wenig überraschend ist der geringe Einsatz in der Chemie- und Pharmabranche. Diese Branche sind in der Regel Prozessindustrien, die in sehr hohen Losgrößen produzieren. 3D-Druck bietet hier gegenüber den derzeit eingesetzten Technologien noch unzureichende Anwendungsmöglichkeiten. Neben der Chemie- und Pharmabranche trifft dies auch auf die Holz- Papier- und Druckindustrie sowie auf die Nahrungsmittelindustrie zu. Hier haben wir in der Befragung keine Firmen die 3D-Druck einsetzen gefunden.

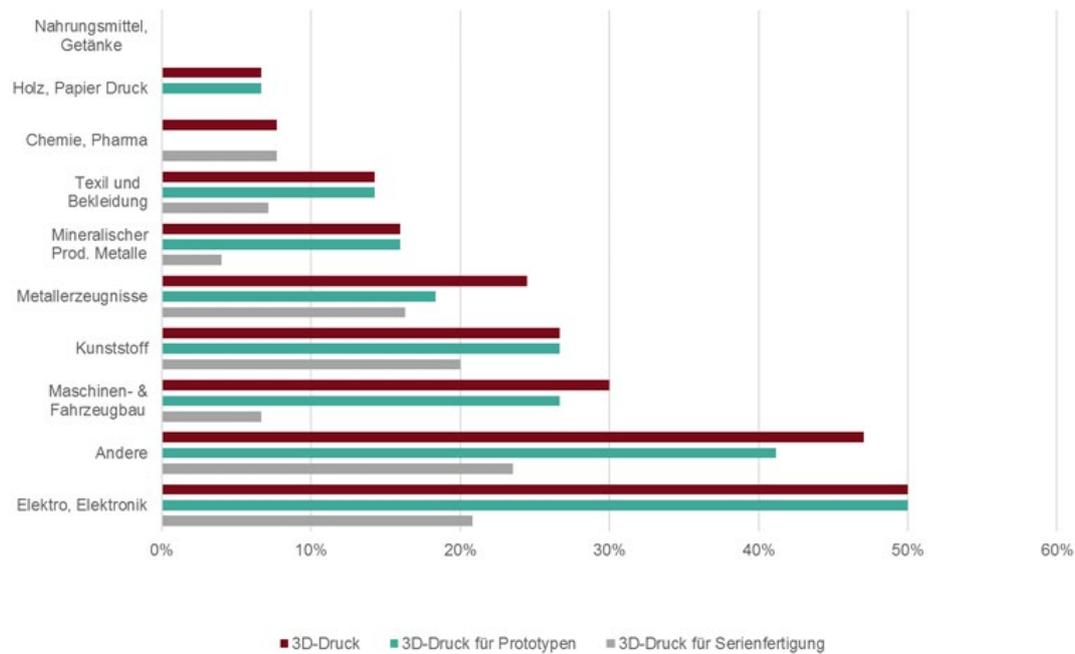
Abbildung 3: Anteil von Firmen mit 3D-Druck nach F&E-Intensität, 2018



Quelle: EMS AT 2018

Es gibt beim Einsatz von 3D-Druck auch deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Branchen (Abbildung 4). Insbesondere die Branchen elektrische Ausrüstung und Elektronik, der Maschinen- und Fahrzeugbau sowie sonstige Hersteller von Waren und industriennahe Dienstleistungen (z.B. Reparaturen, Installationen von Maschinen) verwenden 3D-Druck am häufigsten. Auch wird 3D-Druck branchenübergreifend im Prototyping nahezu doppelt so oft wie in der Fertigung eingesetzt. Die Ausnahme betrifft hier – nicht überraschend – die Erzeugung von Produkten aus Kunststoff.

Abbildung 4: Einsatz von 3D-Druck in verschiedenen Branchen, 2018



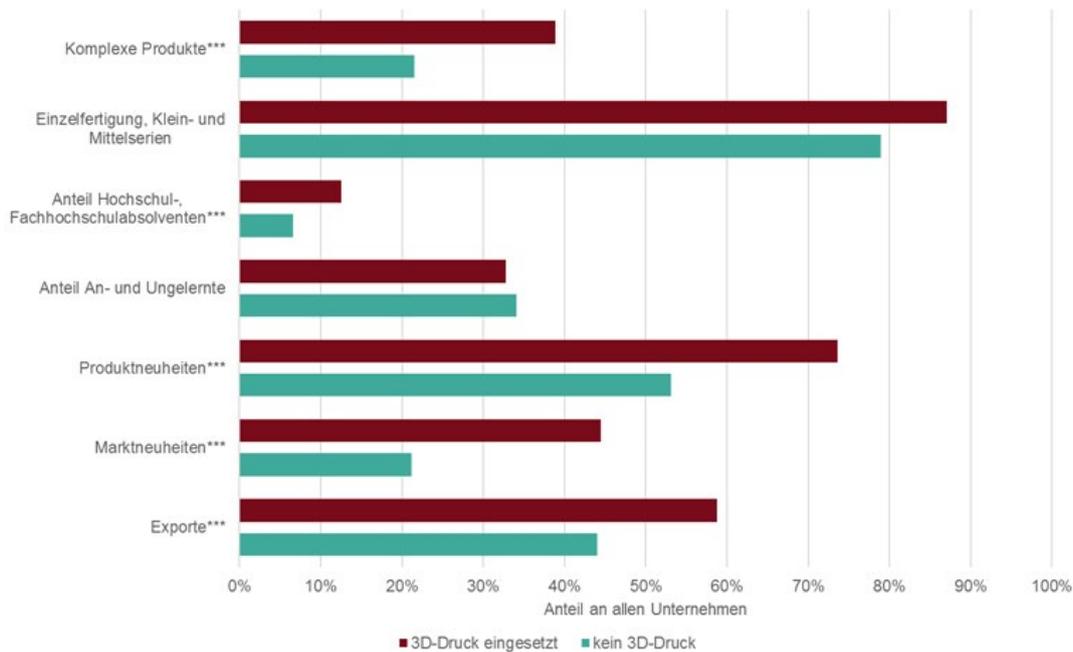
Quelle: EMS AT 2018

Weitere Unterschiede bezüglich Nutzung von 3D-Druck zeigt Abbildung 5. Signifikante Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von einem Prozent oder weniger sind durch (***) gekennzeichnet. Firmen, die 3D-Druck nutzen, stellen signifikant häufiger komplexe Produkte her. Auch produzieren diese Unternehmen in kleinere Losgrößen. Dies unterstützt auch die These zu den Resultaten aus Abbildung 2. Firmen mit kleineren Losgrößen können von 3D-Druck im Herstellungsprozess profitieren, da der Einsatz dieser Technologie weniger stark von Skaleneffekten abhängig ist und die Produktion mittels 3D-Druck seltener bis gar nicht mehr durch zwischenzeitliche Rüstzeiten unterbrochen wird.

Klar zu erkennen ist auch ein Innovationsbonus für 3D-Druck nutzende Unternehmen. Diese Unternehmen bringen deutlich mehr neue und verbesserte Produkte (Innovationen) auf den Markt und schaffen auch deutlich mehr radikale Produktinnovationen. Dies kann damit erklärt werden, dass Firmen mit starker Innovationsorientierung auch eher bereit sind, neue Technologien einzusetzen. Unternehmen, die 3D-Druck nutzen, beschäftigen auch einen höheren Anteil von Hochschulabgängern. Es kann aber auch ein Hinweis auf einen positiven Einfluss von 3D-Druck auf den Produktentwicklungsprozess sein, wenn sich etwa durch Rapid Prototyping Entwicklungszeiten verkürzen lassen.

Deutlich höher in Firmen die 3D-Druck nutzen ist auch der Umsatzanteil von Exporten. Diese Unternehmen erwirtschaften mehr als 60 Prozent ihres Umsatzes im Ausland, gegenüber 43 Prozent bei Firmen die 3D-Druck-Technologien nicht nutzen. Möglicherweise ist dies ein Ergebnis der höheren Innovationsorientierung von Unternehmen, die 3D-Druck nutzen. Innovative Unternehmen sind wiederum stärker exportorientiert (Lachenmaier und Wößmann, 2006).

Abbildung 5: Produkt, Personal und Exportcharakteristiken von Firmen mit und ohne 3D-Druck, 2018



Quelle: EMS AT 2018

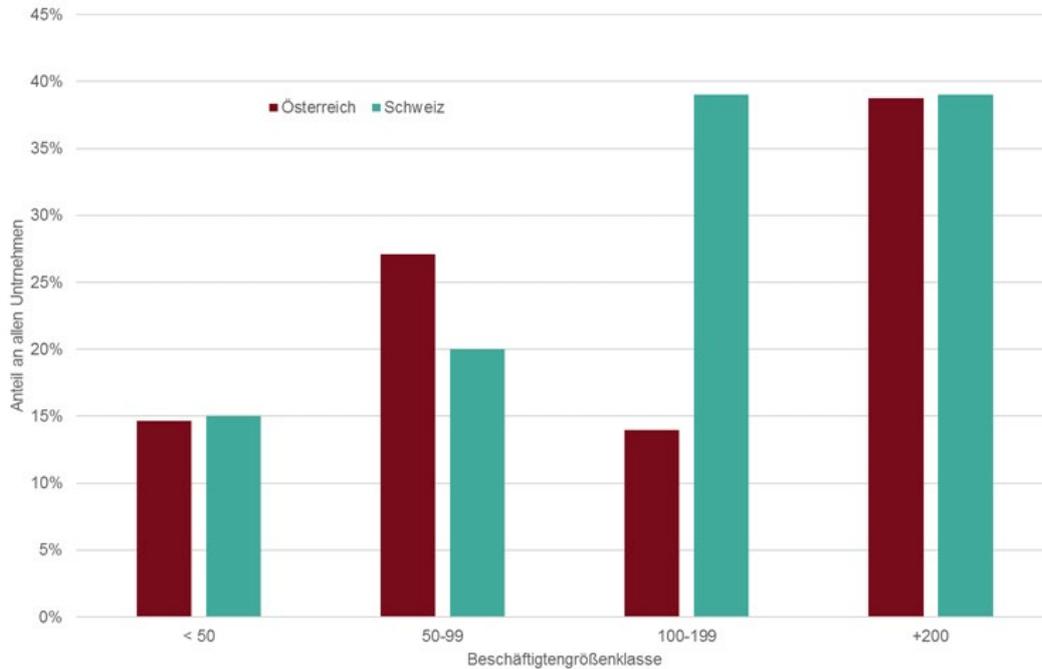
4 Der Einsatz von 3D-Druck in österreichischen und Schweizer Firmen

Der European Manufacturing Survey ist ein Netzwerk von Partnern in mehreren europäischen Ländern, die für ihre nationalen Umfragen sehr ähnliche Fragebögen verwenden. Dadurch ist es möglich, die Ergebnisse international zu vergleichen. Im Folgenden werden wir den Einsatz von 3D-Druck in österreichischen und Schweizer Firmen miteinander vergleichen. Dieser Vergleich basiert auf 875 Schweizer und 258 österreichischen Unternehmen der Sachgüterproduktion mit 20 und mehr Beschäftigten.

Die Anteilswerte von Firmen die 3D-Druck verwenden sind in Österreich und der Schweiz sehr ähnlich. Insgesamt verwenden in Österreich etwa 22% aller Firmen der Sachgütererzeugung mit 20 oder mehr Beschäftigten 3D-Druck, der Vergleichswert für die Schweiz ist mit 24% nur geringfügig höher.

Besonders auffällig im Ländervergleich ist, dass die Anteile bei den Unternehmen bis 50 Beschäftigten sowie bei den Firmen die 200 und mehr Beschäftigte haben beinahe identisch sind (Abbildung 6). In der Größenklasse zwischen 100 bis 200 Beschäftigten ist die Technologie dagegen in der Schweiz deutlich häufiger zu finden. Insgesamt scheinen die Unterschiede allerdings klein.

Abbildung 6: Anteil der Firmen mit 3D-Druck nach Beschäftigtengrößenklasse, 2018, AT und CH



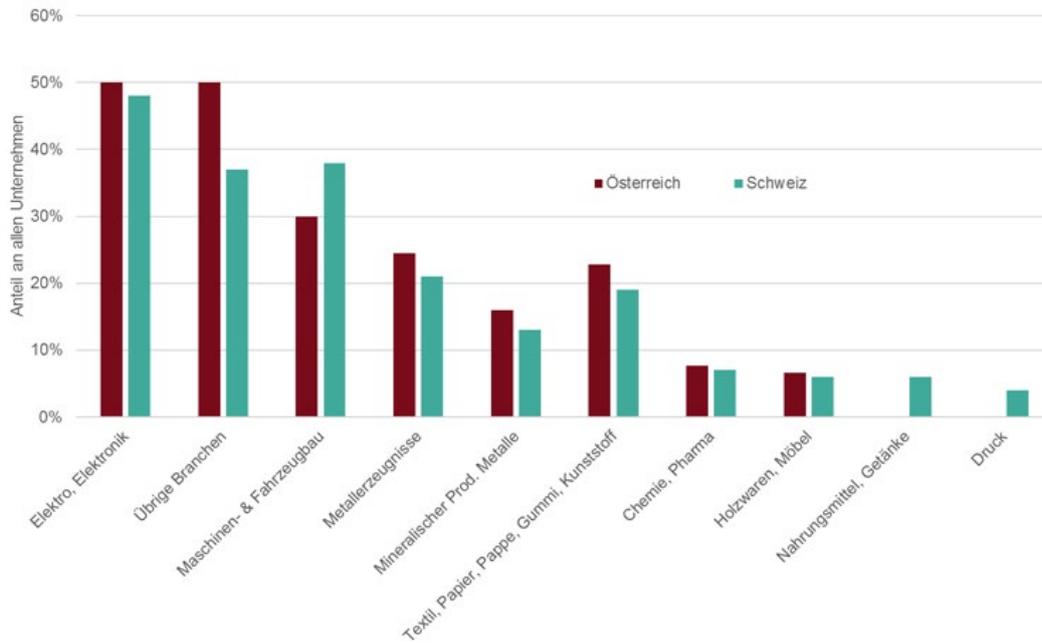
Quelle: EMS AT 2018

Dieser Eindruck bestätigt sich auch auf Branchenebene (Abbildung 7). In beiden Ländern finden sich Anwender von 3D-Druck am häufigsten unter Unternehmen der Elektro- und Elektronikindustrie, sonstigen Branchen der Sachgüterproduktion inkl. Reparatur und Wartung sowie im Fahrzeug- und Maschinenbau. Der Unterschied beim Fahrzeug- und Maschinenbau zwischen beiden Ländern lässt sich möglicherweise durch die unterschiedliche Spezialisierung innerhalb dieser breiten Gruppe von Branchen erklären. Am anderen Ende der Verteilung findet sich in beiden Ländern die Branchen Druck sowie die Nahrungsmittelindustrie.

Es finden sich in beiden Ländern auch dieselben Unterschiede zwischen Firmen die 3D-Druck verwenden und solchen die diese Technologie nicht einsetzen (siehe Abbildung 5 für Österreich). Firmen die 3D-Druck einsetzen sind in beiden Ländern deutlich exportorientierter, produzieren häufiger komplexe Produkte, sind innovativer, entwickeln häufiger Marktneuheiten und beschäftigen einen höheren Anteil von Hochschul- und Fachhochschulabsolventinnen und -absolventen. Die Exportquote, der Anteil von Firmen mit Marktneuheiten sowie der Anteil von Firmen mit Innovationen ist dabei annähernd gleich groß.

Insgesamt gibt es im Einsatz von 3D-Druck zwischen der Schweizer und der österreichischen Sachgüterproduktion nur wenige Unterschiede, die möglicherweise durch Unterschiede in der Branchenstruktur erklärt werden können. Insbesondere finden wir keine Hinweise auf einen etwaigen Rückstand oder Vorsprung eines der beiden Länder bei 3D-Druck.

Abbildung 7: Anteil der Firmen mit 3D-Druck nach Branche, 2018, AT und CH



Quelle: EMS AT 2018, EMS CH 2018

5 Fazit

Ziel der Studie war es, herauszufinden, wie verbreitet 3D-Druck in Österreich und der Schweiz ist, wo sich diese Technologie bereits etabliert hat und welche Unternehmen sie vorrangig einsetzen. Die Resultate bestätigen, dass 3D-Druck neben dem Prototyping immer mehr für Fertigungszwecke relevant wird. Ein Anwendungsfeld, für das sich 3D-Druck gut eignet, sind beispielsweise Produkte mit vielschichtigen, komplizierten Strukturen. Die Elektro- und Elektronikindustrie und der Fahrzeug- und Maschinenbau sind Branchen mit besonders hohen Anteilen von Unternehmen, die 3D-Druck bereits einsetzen.

Eine Haupteinsicht ist, dass der Einsatz von 3D-Druck im Prototyping und in der Fertigung unterschiedlichen Regeln folgen. Die Verbreitung von 3D-Druck für Prototyping steigt mit der Unternehmensgröße an, wir finden diese Anwendung vor allem bei Unternehmen in sehr F&E-intensiven Branchen mit Fokus auf Produktinnovation. 3D-Druck bietet hier klare Vorteile bezüglich Time-to-Market und den Kosten beim Prototyping sowie dem Testen von Produkten. 3D-Druck in der Fertigung ist noch stärker auf Anwendungen in technologischen Nischen und die Herstellung komplexer Produkte beschränkt, wo auch kleine Firmen diese Technologie verwenden. Eintrittsbarrieren für die Verwendung von 3D-Druck sind kaum vorhanden. Die meisten Firmen machen allerdings erste Erfahrungen mit 3D-Druck im Prototyping. Unternehmen, welche bereits über mehrere Jahre 3D-Druck im Prototyping einsetzen, haben ein gewisses Know-how aufgebaut, dass im Hinblick auf die Einführung von 3D-Druck in der Fertigung vorteilhaft sein kann.

Insgesamt gibt es im Einsatz von 3D-Druck zwischen der Schweizer und der österreichischen Sachgüterproduktion nur wenige Unterschiede. Insbesondere finden wir keine Hinweise auf einen etwaigen Rückstand oder Vorsprung eines der beiden Länder bei 3D-Druck.

6 Referenzen

De Jong, J.P.D., De Bruijn, E., (2013). Innovation Lessons From 3-D Printing. Sloan Management Re-view 52, 43-52.

Europäische Kommission (2014). Additive Manufacturing in FP7 and Horizon 2020. Report from the EC Workshop on Additive Manufacturing held on 18 June 2014. Brussels.

Europäische Kommission (2016). Identifying current and future applications areas, existing industrial value chains and missing competences in the EU, in the area of additive manufacturing (3D-Printing). Brussels, Final Report.

Gebhardt, A. (2000). Rapid Prototyping - Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung. München: Carl Hanser Verlag.

Hague, R. (2006). Unlocking the Design Potential of Rapid Manufacturing. In R. Hague & P. Dickens (Eds.), Rapid Manufacturing - An Industrial Revolution for The Digital Age (Hopkinson, pp. 5–18). Chichester: John Wiley & Sons.

Lachenmaier, S., Wößmann, L. (2006). Does innovation cause exports? Evidence from exogenous innovation impulses and obstacles using German micro data. Oxford Economic Papers 58, 317-350.

Laplume, A. O., Peterson, B., & Pearce, J. M. (2016). Global value chains from a 3D printing perspective. Journal of International Business Studies, 47, 595–609.

Som, O., Thielmann, A., Schnabl, E., Daimer, S., Berghäuser, H., & Rothengatter, O. (2016). Anwendungs- und Entwicklungsperspektiven der additiven Fertigung für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Berlin: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag TAB.

Tuck, C., & Hague, R. (2006). Management and Implementation of Rapid Manufacturing. In N. Hopkinson, R. Hague, & P. Dickens (Eds.), Rapid Manufacturing - An Industrial Revolution for The Digital Age (pp. 5–18). Chichester: John Wiley & Sons.

Wohlers Associates Inc. (2012). Wohlers Report. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins.

Weitere Informationen zum European Manufacturing Survey finden Sie unter:

<https://www.ait.ac.at/ems>

Kontakt

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 4
1210 Vienna, AUSTRIA

www.ait.ac.at

Bernhard Dachs

Senior Scientist
Center for Innovation Systems & Policy
+43 50550-4563
bernhard.dachs@ait.ac.at