

Endbericht 2017 – explorative Studie

Additive Fertigung: Potenziale für den Standort Österreich

Univ.-Prof. Dr. **Matthias Fink** (*JKU Linz & ARU Cambridge*)

Univ.Ass. DI Dr. **Johannes Gartner** (*JKU Linz & Aalto University Helsinki*)

Assoc.Prof. Dr. **Daniela Maresch LL.M.** (*JKU Linz & University of Southern Denmark*)

IFI Institut für Innovationsmanagement

Johannes Kepler Universität Linz

Altenberger Straße 69, 4040 Linz, Österreich

August 2017

Abstract

Additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM) wird vielfach als eine der nächsten revolutionären Technologien gehandelt (Rayna & Striukova, 2016). Trotzdem hat sich AM bislang nur in Nischen etablieren können. Eine breite disruptive Wirkung von AM auf Wirtschaft und Gesellschaft hat noch nicht stattgefunden. Damit gehen Chancen für den Wirtschaftsstandort Österreich verloren. Wir argumentieren, dass im wissenschaftlichen und praktischen Diskurs die Potenziale von AM auf einer zu allgemeinen und abstrakten Ebene diskutiert werden. Um konkrete Potenziale und die damit verbundenen praktischen Hürden für den Einsatz von AM in spezifischen Bereichen zu erkennen, muss detailliert untersucht werden, welche Charakteristika von AM diese Produktionsverfahren für welche Anwendungsgebiete attraktiv machen und welche Materialien dafür zum Einsatz kommen sollen.

Die Studie erarbeitet in zwei einjährigen Projekten eine Roadmap für die optimale Hebung der Potenziale von AM für den Wirtschaftsstandort Österreich. Das erste Projekt erarbeitet Thesen zu den Fragen: Welche konkreten, bis 2025 tatsächlich realisierbaren Potenziale bietet AM für den Wirtschaftsstandort Österreich? Welche relevanten technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Hemmnisse stehen einer breiten Einführung von AM in Bereichen, in denen ihr Einsatz attraktiv wäre, im Wege? Wie lassen sich diese Hemmnisse durch politisches/unternehmerisches Handeln abbauen? Wie sähen entsprechende politische Maßnahmen aus? Welche Rolle spielt additive Fertigung vor dem Hintergrund der Digitalisierung und dem in der österreichischen Innovationspolitik forcierte Konzept Industrie 4.0?

Dazu wird ein integrativer Technology Foresight (Andersen et al., 2004) durchgeführt. Die Datenbasis besteht aus einer systematischen Analyse des Forschungsstandes (Gartner et al., 2015), einer Textanalyse (Schuelke-Leech & Barry, 2017) der 5.445 zwischen 2011 und 2016 im größten deutschsprachigen online-Magazin zu AM (3druck.com) publizierten Beiträge sowie acht qualitativen Expertengesprächen und einer Fokusgruppe (Shah & Corley, 2006). Die Interviews und die Fokusgruppe wurden mit einer Auswahl von Vertretern unterschiedlicher AM-Stakeholdergruppen durchgeführt. Auf dieser breiten Datenbasis zu Anwendungs- und Entwicklungsperspektiven von AM in Österreich leiten wir die folgenden 10 Thesen als Grundlage für Empfehlungen für Interventionen zur Hebung dieses Potenzials von AM für den Zeithorizont bis 2025 ab:

Die zukünftige Hebung der Potenziale von AM für den Standort Österreich wird *begünstigt* durch die:

- Einführung von AM in Bildung und Forschung zum besseren Verständnis der Interdisziplinarität sowie der Freiheiten des Schichtbauverfahrens und zum Lernen aus best-practice Beispielen (These 1)
- Nutzung vorhandener Knowledge Hubs (These 2)
- Entwicklung neuer Produkte und neuer Geschäftsmodelle (These 3)
- Betrachtung der Gesamtkosten, die für die Befriedigung eines Kundenbedürfnisses entstehen (These 4)
- Fokussierung auf Produktfunktionen statt auf Komplexität (These 5)
- Schaffung zusätzlicher Kundennutzen durch automatisierte Individualisierung (These 6)
- Berücksichtigung der Vielfalt an Materialien für AM (These 7)
- Berücksichtigung des Beitrags von AM zur Nachhaltigkeit (These 8)
- langfristige Zuweisung von Forschungsmitteln (These 9)

Eine unreflektierte Anwendung von AM führt jedoch zu enttäuschten Erwartungen und *hemmt* die Hebung der Potenziale (These 10).

Inhalt

1.	Setting the stage – Relevanz von Additiver Fertigung	3
2.	Herausforderung und Zielsetzung	4
3.	Theoretischer Hintergrund	5
3.1.	<i>Additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM)</i>	<i>5</i>
3.2.	<i>Der Potentialwürfel der additiven Fertigung</i>	<i>7</i>
3.3.	<i>Technology Foresight.....</i>	<i>8</i>
4.	Methoden und Datengrundlage.....	9
4.1.	<i>Rechtfertigung der Methodenwahl</i>	<i>9</i>
4.2.	<i>Datenerhebung</i>	<i>10</i>
4.3.	<i>Analysestrategie.....</i>	<i>11</i>
5.	Ergebnisse	12
5.1.	<i>Die zukünftige AM-Landkarte</i>	<i>12</i>
5.1.1.	<i>AM Materialien</i>	<i>13</i>
5.1.2.	<i>AM Charakteristika</i>	<i>15</i>
5.1.3.	<i>AM Anwendungsgebiete</i>	<i>18</i>
5.2.	<i>Interpretation der zukünftigen AM-Landkarte</i>	<i>22</i>
5.2.1.	<i>AM Materialien in den Anwendungsgebieten.....</i>	<i>22</i>
5.2.2.	<i>AM Charakteristika in den Anwendungsgebiete</i>	<i>23</i>
6.	Thesen zu den prioritären Handlungsfeldern.....	25
7.	Fazit: Maßnahmenoptionen in den prioritären Handlungsfeldern	31
7.1.	<i>Prioritäre Handlungsfelder.....</i>	<i>31</i>
7.2.	<i>Maßnahmenoptionen</i>	<i>32</i>
8.	Next Steps: Studie zur Quantifizierung.....	33

Literaturverzeichnis

Anhang 1: Akteursliste

1. Setting the stage – Relevanz von Additiver Fertigung

Bereits im Jahr 1984 wurde von Chuck Hull, dem Gründer der 3D Systems Corporation, das erste funktionierende Additive Fertigungsverfahren (Additive Manufacturing, AM) präsentiert und bereits wenig später kommerzialisiert (3D Systems Corporation, 2014a). Der Begriff AM umfasst verschiedene computerunterstützte Prozesse für die automatisierte Herstellung fester Objekte, die auf einem digitalen Modell basieren. Bei diesen Fertigungsverfahren wird im Gegensatz zu subtraktiven Prozessen (zB Schleifen, Fräsen oder Drehen), die auf der Entfernung von Material beruhen, in aufeinander folgenden Schritten Material schichtweise hinzugefügt, verbunden oder zusammengesetzt, um ein festes Objekt zu produzieren. Sie basieren auf unterschiedlichen Technologien, die in Material Jetting, Binder Jetting, Material Extrusion, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination und Directed Energy Deposition (ASTM International, 2012) untergliedert werden können. Je nach Art der Anwendung werden AM-Verfahren unterschiedlich bezeichnet, etwa Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Casting oder Direct Manufacturing (Breuninger et al., 2013).

Der Anwendungsbereich von AM beschränkte sich zunächst auf die Herstellung von Prototypen für Produktentwicklungen (Rapid Prototyping), konnte aber durch die fortschreitende Entwicklung der Prozesse und der verwendbaren Materialien rasch erweitert werden. Trotz des langjährigen industriellen Einsatzes von AM gewannen diese Verfahren erst im Jahr 2004 mit der Entwicklung eines Open Source Projektes, im Rahmen dessen der Bauplan eines einfachen 3D-Druckers veröffentlicht wurde, die Aufmerksamkeit eines breiteren Publikums. Dies führte zur Gründung zahlreicher schnell wachsender Start-Ups, die auf Basis der Open Source Software kostengünstige Einstiegsgeräte entwickelten. So wurde AM auch für Privatanwender leistbar. Neben dem Aufkommen günstigerer Geräte machte auch das Entstehen von Dienstleistern, die industrielle Verfahren der breiten Öffentlichkeit anbieten, die Technologie einer größeren Anzahl an Menschen zugänglich und führte so zu neuen Anwendungen.

Derzeit beschäftigen sich zahlreiche unterschiedliche Projekte mit AM von Kunstprojekten, einfachen Ersatzteilen, Modellen für den Hobbybereich, individualisierten Produkten und Kleinserien. Im industriellen Bereich umfassen die Anwendungen derzeit überwiegend die Herstellung von Teilen aus Kunststoffen, Metallen und Keramiken (Eyers und Dotchev, 2010; Salmi et al., 2012) für die Produktion von Maschinen- und Werkzeugteilen sowie von Gussvorlagen und Gussformen. Auch im medizinischen Bereich hat AM bei der Herstellung von Dentalprodukten (z.B. Zahnspangen und Gussvorlagen für Zahnprothesen), Endoprothesen (z.B. Titanimplantate) und Exoprothesen (z.B. Fußprothesen) bereits einen Teil der traditionellen Produktionsformen abgelöst. Die heute verwendbaren Materialien reichen von Polymeren, Keramiken, Metallen (einschließlich Gold; Khan und Dickens, 2012), Verbundstoffen (Kruth et al., 2003) und Papier (Mcor Technologies, 2013) bis hin zu noch eher experimentellen Materialien, wie Beton (Khoshnevis, 1998), Schokolade (Chocedge Ltd., 2012) und Zucker (3D Systems, 2014b).

In der (teils experimentellen) Forschung werden die Prinzipien von AM eingesetzt, um an der Erzeugung von künstlichem Gewebe (Bioprinting für Tissue Engineering) einschließlich künstlicher Organe (Economist, 2013), künstlichem Fleisch und künstlichem Leder (Modern Meadow, 2012) sowie Produkten für die Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Anwendungen zu arbeiten. Des Weiteren kommen die Verfahren in der Forschung im Bereich der Mikro- und Nanotechnologie (Bertsch et al., 2000), in der Elektronik bei Strukturen mit eingebetteten elektronischen Schaltungen (Lopes et al., 2012) und im Bauwesen bei additiv

erstellten Bauwerken (z.B. Contour Crafting; Khoshnevis, 1998) zur Anwendung. In der Weltraumforschung wird auch mit Objekten aus ungewöhnlichen Werkstoffen wie Mondsand experimentiert (Balla et al., 2012).

Österreich nimmt im Bereich AM international eine wichtige Rolle ein. Hochschulen, wie die JKU Johannes Kepler Universität Linz, TU-Wien, TU-Graz, FH Oberösterreich, Montanuniversität Leoben oder die FH Technikum Wien, beschäftigen sich tiefgründig mit den wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen dieser Technologie und der technischen Entwicklung von Geräten, Verfahren und Materialien. Mit Unternehmen wie der Lithoz GmbH stellt Österreich ein international renommiertes Unternehmen, das sich auf die Herstellung von Maschinen für AM von Hochleistungskeramiken und die Materialentwicklung für biomedizinische Anwendungen spezialisiert hat. Weitere österreichische Gerätehersteller sind die steirische HAGE GmbH und die oberösterreichische Evo-Tech GmbH. Dienstleister wie Izu1 Prototypen beschäftigen mehr als 130 Mitarbeiter.

In den vergangenen Jahren haben sich in Österreich auch Messen, etwa iCAT, Austrian 3D Printing Forum, Print3DFuture sowie Metal Additive Manufacturing Conference der Austrian Society for Metallurgy and Materials, etabliert und das Wiener Unternehmen Dannes Solutions GmbH ist Herausgeber des reichweitenstärksten deutschsprachigen Online-Magazins im Bereich AM (www.3Druck.com). Unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technology (bmvit) gründen österreichische Stakeholder bestehend aus Branchenvertretern, Hochschulen und Gewerbetreibenden Ende 2017 den österreichweit tätigen Verein „Additive Manufacturing Austria (AMAT)“ (www.am-austria.com) zur Stärkung, Entwicklung und Verbreitung von AM am Wirtschaftsstandort Österreich, sowie zur Bildung einer Schnittstelle für nationale und internationale Aktivitäten im Bereich AM.

2. Herausforderung und Zielsetzung

Warum konnte AM trotz der Potenziale für disruptive Innovation in Produktion und Wertschöpfungsketten bislang keine Breitenwirkung entfalten? Wir argumentieren, dass die österreichische Gesellschaft und Wirtschaft der Nutzung neuer Technologien doch nicht so offen gegenübersteht, wie vielfach behauptet. Als Ergebnis bleibt das technische Potenzial von AM für gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wandel und damit für Beschäftigung und Wohlstand weitgehend ungenutzt.

Um zu verstehen, welche Potenziale AM für die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft bieten und wie diese Potenziale gehoben werden können, müssen die allgemeinen und oft abstrakten Erwartungen an diese Technologie mit den konkreten Erfahrungen und Erwartungen zu Anwendungsweisen und -gebieten in Zusammenhang gebracht werden. Gerade hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung von AM besteht ein großer Dissens unter Anwendern aus der Praxis und Experten aus der Forschung (Gartner et al., 2015; Jiang et al., 2017). Daher ermöglicht erst dieser empirisch fundierte Reality-Check die Ableitung von praktischen Handlungsempfehlungen für die österreichische Wirtschaftspolitik, damit das disruptive Potenzial von AM für Wirtschaft und Gesellschaft genutzt werden kann. Für Österreich wurde ein solcher systematischer und umfassender empirisch fundierter Reality-Check bislang nicht durchgeführt.

Mit der vorliegenden Studie adressieren wir diese Lücke indem wir klären, in welchen Anwendungsgebieten und unter Verwendung welcher Materialien sich AM entwickeln wird und welche Eigenschaften von AM dafür Hemmnisse darstellen und Potenziale bieten. Die Integration der Perspektiven von

ExpertInnen aus Unternehmen, die AM anbieten oder anwenden, ExpertInnen aus universitären und nicht-universitären Forschungseinrichtungen, RechtsexpertInnen, politischen EntscheidungsträgerInnen und InteressensvertreterInnen ermöglicht eine ganzheitliche Erklärung, warum AM in manchen Bereichen tiefgreifende disruptive Veränderungen ermöglicht hat und in anderen nicht. Aus diesen Einsichten leiten wir zehn Thesen ab, wie die Potenziale von AM in Österreich besser gehoben werden können und welche Herausforderungen es dabei mit welchen Mitteln zu bewältigen gilt.

Dazu führen wir einen integrativen Technology Foresight-Prozess durch (Andersen et al., 2004). In dem Prozess nutzen wir die Ergebnisse bisheriger Studien zu AM aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen, führen Text Data Analytics (Schuelke-Leech & Barry, 2017) auf Basis einer Wort-basierten Frequenzanalyse des größten deutschsprachigen online-Magazins zu AM durch und triangulieren die Ergebnisse jedes Teilschritts in Experteninterviews und einer Fokusgruppe mit unterschiedlichen AM Stakeholdern. Als Ausgangspunkt dienen die drei Dimensionen „AM-Charakteristika“, „AM-Materialien“ und „AM-Anwendungsgebiete“, die sich in einem ersten Schritt aus der zusammenfassenden Inhaltsanalyse des online-Magazins ergeben. Die häufigsten Begriffe werden dann in einem zweiten Schritt nach diesen drei Dimensionen kategorisiert und die Veränderung der Häufigkeit dieser Kategorien innerhalb der Betrachtungsperiode wird in einem dritten Schritt analysiert. Die entstehende thematische AM-Landkarte und die ablesbaren Trends werden dann in Experteninterviews und einer Fokusgruppe validiert. Schließlich werden die Ergebnisse der drei Analyseschritte gesamthaft diskutiert und zu Thesen verdichtet.

Für die Praxis zeigt diese Studie auf, wo realisierbare Potenziale von AM liegen. Für politische Entscheidungsträger macht die Studie deutlich, welche technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Hürden die Entfaltung des disruptiven Potenzials von AM behindern und wie diese adressiert werden können. Die Ergebnisse dieser Studie sollen einer besseren Nutzung von AM für Gesellschaft und Wirtschaft am Standort Österreich dienen.

3. Theoretischer Hintergrund

3.1. Additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM)

ASTM International (2012, 2) definiert AM, umgangssprachlich auch 3D Druck genannt, als “process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies, such as traditional machining”. AM bezeichnet keine spezifische Technologie, sondern ist ein Disziplinen übergreifender Sammelbegriff für unterschiedliche Produktionsprozesse. Die bisherigen Studien zu AM lassen sich in einen technisch-naturwissenschaftlichen und einen wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Forschungsstrang gliedern. Während der erste Forschungsstrang die Fächer Materialwissenschaft, Software Engineering, Mechatronik und Robotik umfasst, analysiert der zweite Forschungsstrang (1) Managementfragen die sich aus der Anwendung von AM ergeben, (2) Marktstrukturen von AM-intensiven Branchen, sowie (3) Risiken und Potenziale von AM.

Aus der Perspektive der Managementforschung, untersuchen Rayna und Striukova (2016) den Effekt von AM auf Geschäftsmodelle und Geschäftsmodellinnovation und kommen zu dem Ergebnis, dass direct manufacturing und home fabrication die Wertschöpfung steigern können, gleichzeitig aber die Realisierung der Produzentenrenten erschweren. Auch Bogers et al. (2016) untersuchen, wie AM Geschäftsmodelle von

Herstellern im Konsumgüterbereich beeinflusst. Sie zeigen, dass durch AM Wertschöpfungsketten dezentralisiert werden und so eine personalisierte Produktion von Konsumgütern ermöglicht wird. Baumers et al. (2016) analysieren, wie die Kostenstruktur von AM-Prozessen die zukünftige Entwicklung von AM beeinflusst. Sie argumentieren, dass die vergleichsweise geringe Produktivität der Maschinen für die Produktionskosten maßgeblich ist, wodurch die Etablierung von AM als dominante Produktionstechnologie verhindert wird. Mellor et al. (2014) untersuchen die Einführung von AM in Produktionsbetrieben, indem sie ein Rahmenkonzept entwickeln und testen. Das Rahmenkonzept lässt aber keine direkten Aussagen zu, warum sich AM nur in einigen wenigen Bereichen etablieren konnte.

Neben Managementfragen haben die bisherige Studien auch die Auswirkungen der Einführung von AM auf Marktstrukturen untersucht. Weller et al. (2015) zeigen auf, dass AM Monopolisten zu Gewinnsteigerungen verhelfen kann, während AM in kompetitiven Märkten den Wettbewerb weiter verschärft, weil es die Markteintrittsbarrieren senkt.

Ferner analysierten zahlreiche Studien die Potenziale und Risiken von AM. Huang et al. (2013) fokussieren in ihrem Literaturüberblick auf die sozialen Effekte von AM und identifizieren die folgenden drei Potenziale von AM: (i) die Möglichkeit medizinische Produkte zu individualisieren erhöht die Gesundheit und Lebensqualität; (ii) nachhaltigere Produktionsprozesse reduzieren den ökologischen Fußabdruck; und (iii) einfachere Wertschöpfungsketten erhöhen die Effizienz und die Flexibilität, um auf Kundenbedürfnisse reagieren zu können. Gartner et al. (2015) untersuchen mit Hilfe einer integrierten Technologiefolgenabschätzung den Beitrag von AM zur Erreichung der in EU Horizon 2020 definierten Ziele. Ihre Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Kommunikation zwischen Experten, politischen Entscheidungsträgern und der allgemeinen Bevölkerung, um die richtigen wirtschaftspolitischen Initiativen zu identifizieren und Entscheidungen über die Allokation öffentlicher Ressourcen zu rechtfertigen. Kürzlich führten Jiang et al. (2017) eine Delphi-Studie durch, um die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Implikationen von AM bis 2030 zu identifizieren. Sie sehen die wahrscheinlichsten Auswirkungen von AM in den Bereichen Ersatzteile, Effizienzmessung und Materialeigenschaften. Despeisse et al. (2017) entwickeln eine Forschungsagenda für AM zur Förderung nachhaltigerer Produktionsweisen und Konsummuster sowie zur Etablierung der Kreislaufwirtschaft. Während diese Studien die Risiken und Potenziale von AM auf einem höheren Abstraktionsniveau untersuchen, fokussieren einige Studien auf einzelne Anwendungsgebiete oder spezifische Charakteristika von AM. Petrovic et al. (2011) untersuchen, zum Beispiel, den Einsatz von AM in den Bereichen Werkzeugbau, Biomedizin sowie Auto- und Flugzeugbau. Conner et al. (2014) analysieren die drei ausgewählten AM-Charakteristika Komplexität, Personalisierung und Produktionsvolumen, um eine Landkarte bestehender AM Produkte und Services zu erstellen.

Die bisherigen Studien zu AM haben wichtige Beiträge geliefert. Um aber zu verstehen, wie die Hindernisse für die Entfaltung der Potenziale von AM am besten überwunden werden können, müssen die allgemeinen Erwartungen an die Leistungsfähigkeit dieser Produktionsverfahren mit konkreten Erfahrungen und Erwartungen, wo und wie AM eingesetzt werden kann, zusammengeführt werden. Zudem setzt die Formulierung von Handlungsempfehlungen für die Wirtschaftspolitik eine Priorisierung der Anwendungsgebiete voraus. Es ist somit zu definieren, wo und wie die öffentlichen Ressourcen am vielversprechendsten investiert sind. Wir untersuchen daher, in welchen Anwendungsgebieten und unter Verwendung welcher Materialien AM seine

Potenziale entfalten wird und welche Charakteristika von AM diese Entwicklungen fördern und behindern werden.

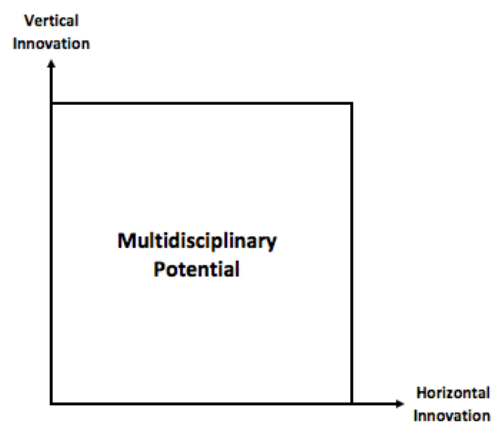
3.2. *Der Potentialwürfel der additiven Fertigung*

Die untenstehende Folge an Grafiken zeigt, wie AM durch seine Sonderstellung sowohl in der Innovations- als auch der Produktionslogik gänzlich neue Potenziale für Wirtschaft und Gesellschaft eröffnet. Damit wird deutlich, warum AM von so großer Relevanz für Forschung und Praxis ist.

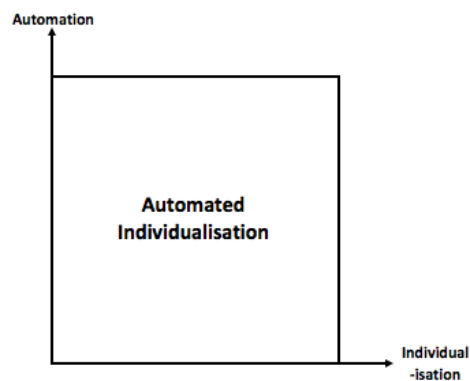
Es lassen sich zwei grundsätzliche Innovationsstrategien unterscheiden (siehe Abbildung 1): vertikale und horizontale Innovation. Vertikale Innovationen bezeichnen das Hervorbringen von neuen Produkten und Prozessen durch die tiefgreifende Beschäftigung mit einem bestimmten Bereich der Praxis oder einer Forschungsdisziplin. Der Erkenntnisfortschritt durch Spezialisierung und Optimierung wird in dem fokussierten Bereich zur Wertschöpfung genutzt. Eine horizontale Innovation bezeichnet den Erkenntnisfortschritt aus der Kombination verschiedener bereits bestehender Wissens Elemente aus verschiedenen Disziplinen. Eine kreative Kombination dieser Wissens Elemente ermöglicht Wertschöpfung durch horizontale Innovation.

Innovationen, die gleichzeitig horizontal als auch vertikal sind, die also auf einer tiefgründigen Beherrschung von mehr als einem Bereich basieren, werden als interdisziplinär bezeichnet. So wie viele erfolgreiche Innovationen, ist auch AM interdisziplinär. Denn AM basiert zumindest auf tiefgründigen Erkenntnissen der Disziplinen Materialwissenschaft und Mechatronik.

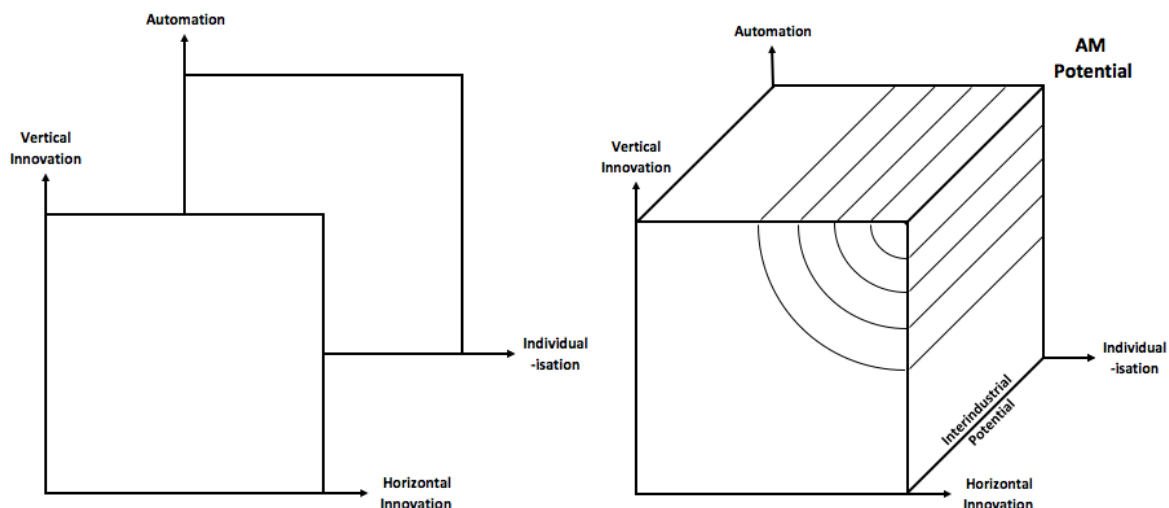
Abbildung 1 – Innovationslogiken



Analog lassen sich zwei grundsätzliche Produktionsstrategien unterscheiden: Automatisierung und Individualisierung (siehe Abbildung 2). Durch Automatisierung lässt sich in der Massenfertigung jeweils ein Produkt in höchster Qualität hoch effizient herstellen. Auf dem Prinzip der Automatisierung beruht beispielsweise das Produktionsverfahren Injektion Molding. Individualisierung als Produktionsstrategie verfolgt das Ziel das einzelne Produkt möglichst exakt nach den Vorstellungen einer bestimmten Person herzustellen. Bei vollständiger Individualisierung ist jedes Produkt ein Einzelstück. Beispiele finden sich in der Kunst und dem traditionellen Handwerk. Moderne Produktionsanlagen wie CNC Fräsen, Produktionsroboter und AM-Systeme ermöglichen eine (teil-)automatisierte Produktion von (teil-)individualisierten Produkten.

Abbildung 2 – Produktionslogiken

Verbindet man die beiden oberen Grafiken, kann die vordere Fläche als immaterielle Komponente (Innovation) und die hintere Fläche als materielle Komponente (Produktion) betrachtet werden (siehe linke Seite in Abbildung 3). Das Spannungsfeld dazwischen bildet das Potential, das sich branchenübergreifend ergibt. Das größte Potential bietet AM dabei in Bereichen, in denen interdisziplinäre Anwendungen einen hohen Grad an sowohl Individualisierung als auch Automatisierung fordern. AM ermöglicht die Entwicklung disruptiver Marktangebote. Ein Beispiel stellt die Invisalign® Zahnsperre dar. In diesem Fall wurde im Anwendungsgebiet Medizinprodukte eine interdisziplinäre Innovation auf Basis einer tiefgreifenden Beherrschung der Disziplinen Materialwissenschaft, Robotik und Medizin mit einer hochgradig individualisierten und gleichzeitig vollautomatisierten Produktion verbunden.

Abbildung 3 – Interdisziplinäre Innovation und automatisierte Individualisierung durch AM

3.3. Technology Foresight

Zukünftige Technologien haben eines gemeinsam: Niemand weiß, wie sich tatsächlich entwickeln werden und welche Effekte sie auf Gesellschaft und Wirtschaft entfalten werden. Dennoch ist es nützlich sich mit der Zukunft auseinander zu setzen und diese Unsicherheit durch eine systematische Prognose zu verringern. Es wurden daher zahlreiche Methoden, wie beispielsweise Technology Forecasting (zB, Martino, 1983; Ratinho et al., 2015), Technology Foresight (zB Coates, 1985), Roadmaps (zB, Walsh, 2004) oder Technology Assessment (zB, Gartner et al., 2015) entwickelt, um die zukünftige Entwicklung von Technologien und deren Auswirkungen zu analysieren. Technology Forecasting fokussiert sich auf die Prognose der Zukunft, während

Technology Foresight einen Schritt weitergeht, indem es auch versucht die Zukunft aktiv mitzugestalten. (Cuhls, 2003). Roadmaps sind im Gegensatz dazu Managementinstrumente, die dazu eingesetzt werden die Entwicklung von Technologien, Produkten und Märkten integrativ darzustellen (Petrick & Echols, 2004). Technology Assessment berücksichtigt zusätzlich auch die sozialen Implikationen neuer Technologien (Dylander, 1980). Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der vorliegenden Studie wählen wir die Methode des Technology Foresight.

Martin (1995) beschreibt Technology Foresight als Prozess der systematisch die langfristige Zukunft der Wissenschaft untersucht, um die Forschungsfelder und neu entstehenden Technologien mit den größten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Potenzialen zu identifizieren. Technology Foresight umfasst somit nicht nur die Prognose der Entwicklung einer Technologie, sondern versucht auch die hinter dieser Entwicklung stehenden hemmenden und fördernden Kräfte zu verstehen (Cuhls, 2003). Dieses Verständnis der Entwicklungsdynamik der untersuchten Technologie bietet dann die Basis für die Ableitung von Handlungsoptionen, die derzeit zur Verfügung stehen (Martin, 2010). Damit ist es das erklärte Ziel des Technology Foresight aktiv die Zukunft der Technologieentwicklung mitzugestalten (Cuhls, 2003). Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Technology Foresight-Prozess unterschiedliche Datenbasen und Expertisen unterschiedlicher Stakeholder nutzen (Amanatidou & Guy, 2008; Miles, 2010). Dazu zählen Vordenker in den für die Technologie relevanten Bereichen, Experten der Technologie, Entscheidungsträger über die Rahmenbedingungen für die Technologie und Institutionen im potenziellen Anwendungsbereich der Technologie (Van Dijk, 1991).

Andersen et al. (2004) nennt vier Phasen des Technology Foresight-Prozesses. Zuerst wird die untersuchte Technologie definiert, um den Untersuchungsgegenstand einzugrenzen. Daran anschließend wird die technologische Landschaft erfasst, um die Charakteristika und Abhängigkeiten der Technologie zu identifizieren, die den Wandel vorantreiben. Die so entstandene Technologielandkarte wird analysiert und schließlich diskutiert. Die rigorose Anwendung dieses Prozesses ermöglicht es Informationen aus unterschiedlichsten Quellen systematisch zu sammeln, zu analysieren und zu diskutieren. Der Prozess schafft so die Basis für die Ableitung empirisch fundierter Handlungsempfehlungen.

4. Methoden und Datengrundlage

4.1. Rechtfertigung der Methodenwahl

In der empirischen Sozialforschung gibt es nicht die eine beste Methode, sondern es ist der Fit zwischen Forschungsvorhaben und Forschungsmethode entscheidend (Piekkari et al., 2009). Um die beste Forschungsmethode für ein konkretes Forschungsvorhaben auszuwählen, sind mindestens drei Punkte zu prüfen: (1) Art der Forschungsfrage, (2) Ausmaß der Kontrolle über das Geschehen im beforschten Feld, und (3) inwieweit aktuelle oder historische Geschehnisse untersucht werden (Yin, 2009). Vor diesem Hintergrund erlauben qualitative Methoden das Erkennen und Verstehen von Zusammenhängen zwischen Variablen sogar in komplexen Prozessen sowie die Berücksichtigung des sozialen Kontexts (Shah & Corley, 2006). Das vorliegende Forschungsvorhaben passt auf dieses Profil, weil es das Ziel hat die Charakteristika, Muster und treibenden Kräfte in der Entwicklung von AM im österreichischen Kontext zu identifizieren. Zudem untersuchen wir eine Entwicklung, die von einer Vielzahl technischer, sozialer und ökonomischer Faktoren beeinflusst wird, die unmöglich kontrolliert oder stabil gehalten werden können. Der zeitliche Fokus liegt auf der Gegenwart und der Zukunft. Auf dieser Basis entscheiden wir uns klar für einen qualitativen Forschungszugang.

Innerhalb des qualitativen Paradigmas bedeutet Theorieentwicklung das Erkennen von neuen Konzepten und das Formulieren von Thesen auf der Basis von gehaltvollen und breiten Daten sowie das konsequente Analysieren dieser Daten vor dem Hintergrund des bestehenden Wissens (Ridder et al., 2014). Das Einnehmen einer einzigen theoretischen oder methodischen Perspektive, die Verwendung einer einzigen Methode oder einer einzigen Datenquelle birgt die Gefahr “isolated silos of knowledge” zu schaffen (Okhuysen & Bonardi, 2011). Wir vermeiden dies, indem wir einen multi-theoretischen und multi-methodischen Ansatz wählen und aus unterschiedlichen Quellen einen reichhaltigen und breiten Datensatz aufbauen. Nach unserem Verständnis sind Theorien Werkzeuge, um empirischen Beobachtungen in einem abduktiven Verfahren zu untersuchen. Als Ergebnis können Thesen formuliert werden, die sowohl rigoros hergeleitet als auch praktisch relevant sind (Kieser & Leiner, 2009; Kieser et al., 2015).

Praktisch bauen wir auf eine aktuelle Studie zu den Chancen und Gefahren von AM in Österreich auf (Gartner et al., 2015) und führen einen integrativen Technology Foresight-Prozess (Andersen et al., 2004) durch. Dieser Prozess basiert auf vier Datenquellen: Ergebnisse bisheriger Studien zu AM aus unterschiedlichen Disziplinen (siehe Abschnitt 2), Ergebnisse einer Text Data Analytics (Schuelke-Leech & Barry, 2017) des größten deutschsprachigen online-Magazins zu AM, qualitativen Experteninterviews und einer Fokusgruppe mit AM Stakeholdern. Dadurch gelangen wir in dieser Arbeit von der relativ abstrakten Betrachtungsebene vorheriger Studien auf eine konkrete Betrachtungsebene. Der Fokus liegt hier nicht auf allgemeinen und abstrakten Potenzialen und Risiken von AM, sondern vielmehr auf spezifischen Treibern und Hemmnisse für die Entfaltung des Potenzials von AM beim Einsatz bestimmter Materialien in bestimmten Bereichen der österreichischen Wirtschaft.

4.2. Datenerhebung

Die konkrete Betrachtungsebene dieser Studie verlangt nach detaillierten Informationen darüber, was sich in Österreich im Bereich AM tut und warum. Um Zugang zu diversem, reichhaltigem und breitem Insider-Wissen zu erhalten (Ridder et al., 2014) haben wir drei Quellen für empirische Daten:

Als erste Quelle dienen uns die 1,4 Millionen Wörter umfassenden 5.445 Beiträge, die zwischen 2011 und 2016 im größten deutschsprachigen AM online-Magazin, 3Druck.com, erschienen sind. Im Jahr 2016 haben diese Beiträge 700.000 unterschiedliche LeserInnen erreicht.

Die zweite Datenquelle ist ein Set von acht qualitativen Experteninterviews mit Vertretern verschiedener Stakeholdergruppen im Bereich AM. Die Interviewpartner umfassen (i) die Stakeholdergruppe politische Entscheidungsträger: jeweils ein/e PolitikerIn aus Parteien links und rechts der Mitte des politischen Spektrums, (ii) die Stakeholdergruppe Interessensvertretung: ein/e VertreterIn einer österreichischen Interessensvertretung, (iii) die Stakeholdergruppe Experte/Expertin Anwender: ein Experte/eine Expertin eines AM Anwenderunternehmens und ein Experte/eine Expertin eines AM Händlers und Serviceanbieters, (iv) die Stakeholdergruppe Experte/Expertin Forschung: ein/e ForscherIn an einer öffentlichen österreichischen Universität und ein/e ForscherIn an einer privaten, nicht universitären Forschungseinrichtung, die beide zu AM forschen, und (v) die Stakeholdergruppe Experte/Expertin rechtliche Rahmenbedingungen: ein/e Rechtsanwalt/Rechtsanwältin mit Spezialisierung auf Immaterialgüterrechte und Digitalisierung. Im Durchschnitt dauerten die Interviews 64 Minuten. Die meisten Gespräche wurden von zwei ForscherInnen aus dem Projektteam durchgeführt. Die Eckpunkte der Interviews sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die dritte Datenquelle ist eine moderierte Diskussion in einer Fokusgruppe mit Vertretern verschiedener Stakeholdergruppen im Bereich AM. Die fünf TeilnehmerInnen der Fokusgruppe umfassen: (i) die Stakeholdergruppe unternehmerischer EntscheidungsträgerInnen: ein/e GeschäftsführerIn eines führenden österreichischen AM Herstellers (ii) die Stakeholdergruppe Experten/anwenderIn: ein Experte/eine Expertin eines AM Anwenderunternehmens und ein Experte/eine Expertin eines AM Händlers und Serviceanbieters, (iii) die Stakeholdergruppe Experte/Expertin Forschung: zwei ForscherInnen an einer öffentlichen österreichischen Universität und ein/e ForscherIn aus einer privaten, nicht universitären Forschungseinrichtung, die alle zu AM forschen.

Tabelle 1 – Interviewpartner

	Geschlecht	Alter	Höchste abgeschlossene Ausbildung	Beruf	Expertise	Interviewdauer
Interessensvertreter	männlich	40-50	Doktorat in Physik	Interessensvertretung	Handel	00:45:27
Politikerin A	weiblich	50-60	Doktorat in Wirtschaftswissenschaften	Politikerin	Innovationspolitik	00:46:01
Politikerin B	weiblich	30-40	Bakkalaureat in Informatik	Politikerin	Innovationspolitik	00:52:00
Experte, Forschung A	männlich	40-50	Habilitation in Physik	Forscher	Materialwissenschaften	01:12:24
Experte, Forschung B	männlich	30-40	Master in Industrial Engineering	Forscher	Wertschöpfungskette	01:39:41
Experte, Händler/Serviceanbieter	männlich	20-30	Matura	CEO	Robotik	00:53:21
Experte, Anwenderunternehmen	männlich	40-50	Matura	CEO	Automatisierung	00:16:06
Experte, rechtliche Rahmenbedingungen	männlich	40-50	Doktorat in Rechtswissenschaften	Anwalt	Immaterialgüterrechte und Digitalisierung	00:41:12

4.3. Analysestrategie

In dieser Studie folgen wir den für Technology Foresight empfohlenen vier Analyseschritten (Andersen et al., 2004). Der erste Schritt, eine klare Abgrenzung und Beschreibung der untersuchten Technologie, wurde bereits weiter oben am Beginn des Abschnitts zum theoretischen Hintergrund vorgenommen.

Im zweiten Schritt wird die zukünftige AM Landschaft untersucht. Um die wesentlichen Charakteristika von AM und die Muster des Wandels zu identifizieren, wurde mit dem Softwarepaket Nvivo für den Zeitraum 2011-2016 im online-Magazin 3Druck.com eine Wort-basierte Frequenzanalyse durchgeführt. Nach dem Aussortieren von allgemeinen, unklaren und synonymen Begriffen wurden die verbliebenen Begriffe mit AM-Zusammenhang nach ihrer Häufigkeit gereiht. Um die von Jahr zu Jahr schwankende Anzahl an im Magazin veröffentlichten Beiträgen zu berücksichtigen, wurde die Gesamtzahl der jährlichen Nennungen eines Begriffs mit der Gesamtzahl der in diesem Jahr im Magazin publizierten Beiträge gewichtet. Auf Basis der gewichteten Häufigkeiten wurden dann die durchschnittlichen Häufigkeiten für den Zeitraum 2011-2016 berechnet. Eine zusammenfassende Inhaltsanalyse der entstandenen Liste ergab drei inhaltliche Dimensionen: (1) Charakteristika von AM, (2) Materialien für AM, und (3) Anwendungsgebiete für AM. Schließlich wurden die häufig genannten Begriffe entlang dieser drei Dimensionen kategorisiert. Die Dimensionen und Kategorien ergeben zusammen die AM-Landkarte. Die AM-Landkarte wurde dann in den Expertengesprächen und der Fokusgruppe validiert.

Um zusätzlich die Dynamik der Entwicklung von AM zu erfassen, teilten wir den Untersuchungszeitraum in zwei Subperioden 2011-2013 (P1) und 2014-2016 (P2) und errechneten die Veränderung der gewichteten Häufigkeiten der jeweiligen AM-Kategorien zwischen P1 und P2. Der daraus resultierende Prozentsatz drückt für jede AM-Kategorie die Veränderung der Bedeutung im AM-Diskurs über die Zeit aus (Tabellen 2 bis 4). Auch diese Ergebnisse wurden in den Expertengesprächen und in der Fokusgruppe validiert (Tabellen 5 bis 7).

Der dritte Schritt widmet sich der Interpretation (sense-making). Um die Interpretation der Ergebnisse der AM Landkarte zu erleichtern, errechneten wir zwei Heat Maps. Die Dimension AM Anwendungsgebiete wurde einmal mit der Dimension AM-Materialien (Tabelle 8) und einmal mit der Dimension AM Charakteristika (Tabelle 9) gekreuzt. Jede Zelle der Matrix repräsentiert einen spezifischen Diskurs zu AM, wie beispielsweise den Diskurs zum Einsatz von Kunststoff in der industriellen Produktion. Um die Komplexität in der Matrix zu reduzieren, geben wir nicht die gewichteten Häufigkeiten der gleichzeitigen Nennung der Begriffe beider Dimensionen – AM-Anwendungsgebiete und AM-Materialien oder AM-Charakteristika – an, sondern fassen die entsprechenden Werte in fünf Gruppen zusammen: 5 (höchste Häufigkeit) bis 1 (geringste Häufigkeit). Diese Komplexitätsreduktion erhöht den Informationswert der Darstellung. Falls ein AM Anwendungsgebiet in keinem der Magazinbeiträge gemeinsam mit einem AM-Material oder einem AM-Charakteristikum genannt wurde, ist in der Zelle “n.a.” (nicht anwendbar) eingetragen. Zusätzlich berechneten wir die Änderung der gewichteten Häufigkeit der gemeinsamen Nennungen der AM-Kategorien zwischen P1 und P2. Das Vorzeichen gibt an, ob Beiträge, die beide AM Kategorien enthalten, zwischen P1 und P2 stark stiegen (++: Anstieg von >50%), leicht stiegen (+: Anstieg von >10% bis ≤50%), stagnierten (+/-: Veränderung zwischen ≥-10% und ≤+10%), leicht abnahmen (-: Abnahme von >10% bis ≤50%) oder stark abnahmen (--: Abnahme von >50%). An dem Vorzeichen ist die Zunahme oder Abnahme der Bedeutung des jeweiligen AM-Materialien bzw. der jeweiligen AM-Charakteristik für das jeweilige AM-Anwendungsgebiet ablesbar. Sowohl die allgemeine Bedeutung der AM-Diskurse als auch deren zeitliche Veränderung wurden in den Experteninterviews und in der Fokusgruppe validiert.

Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der drei Analyseschritte diskutiert und die wesentlichen Erkenntnisse zu Thesen verdichtet.

5. Ergebnisse

Wir definieren AM als den “process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies, such as traditional machining” (ASTM International 2012, 2).

5.1. Die zukünftige AM-Landkarte

Die Wort-basierte Frequenzanalyse ergab die drei Dimensionen (1) AM-Materialien, (2) AM-Charakteristika, und (3) AM-Anwendungsgebiete. Anschließend wurden diesen Dimensionen die folgenden Kategorien zugeordnet: (1) Materialien: Kunststoff, Metall, Lebensmittel, Keramik, und Holz; (2) Charakteristika: Kosten, Gewicht, Komplexität, Individualität, Geschwindigkeit, und Nachhaltigkeit; und (3) Anwendungsgebiete: Prototyping, Medizin, industrielle Produktion, Werkzeugbau, Kunst, Flugzeugbau, Dienstleistung, Handel, Forschung, Hobby, Bau, Mode, Automotive, Schmuck, und Bildung.

Die Tabellen 2 bis 4 zeigen eine Übersicht der nach der Anzahl der im jeweiligen Jahr im online-Magazin

publizierten Beiträge gewichteten Häufigkeiten der Nennung jeder Kategorie entlang der drei Dimensionen Materialien, Charakteristika und Anwendungsgebiete im Durchschnitt für die Jahre 2011 bis 2016 sowie die Änderung dieser Häufigkeiten zwischen P1 (2011-2013) und P2 (2014-2016).

5.1.1. AM Materialien

Bezüglich des in AM eingesetzten Materials bestätigen die Interviews weitgehend die Ergebnisse der Frequenzanalyse des online-Magazins. **Kunststoff** ist das am meisten eingesetzte Material – “Von der Druckbarkeit ist Kunststoff, insbesondere das bei FDM verwendete PLA, klar an der Spitze.” (Experte, Händler/Serviceanbieter). Trotz der Vorteile von Kunststoff, besonders im Hinblick auf den

Fact Box: AM Materialien

Das Prinzip von AM ermöglicht die Verarbeitung von vielen Materialien in unterschiedlichen Rohformen.

Kunststoffe werden im Produktionsprozess häufig als drahtförmiges Filament verwendet, welches schichtweise aufgeschmolzen wird, als Pulver verklebt oder versintert, oder in flüssiger Form als Photopolymer mittels einer Lichtquelle gezielt zum Härten gebracht, um eine gewünschte Geometrie zu erreichen. Dank aktueller Entwicklungen in den Kunststoffwissenschaften konnten die Materialeigenschaften und damit die Anwendungsmöglichkeiten in zahlreichen Branchen deutlich erweitert werden.

Metalle werden derzeit größtenteils in Pulverform verschmolzen, um die gewünschte Geometrie zu erzeugen. Aktuelle Entwicklungen ermöglichen auch die Herstellung von Metallteilen auf Basis von Filamenten. Metall findet vor allem in der Industrie, Luft- und Raumfahrt sowie in der Medizin Anwendung.

Keramische Materialien lassen sich beispielsweise in Verbindung mit einem Photopolymer in die gewünschte Form bringen und nachträglich brennen. Dabei werden nicht keramische Anteile ausgebrannt. Keramische Werkstoffe bieten für industrielle und medizinische Anwendungen Eigenschaften, die mit Kunststoffen und Metallen nicht oder nur schwer realisierbar sind.

Preis, gibt es Probleme im Hinblick auf die Belastbarkeit und Haltbarkeit. Diese Nachteile können Unternehmen auch in der Zukunft von der Verwendung von Kunststoff für AM abhalten – “Da merke ich auch ein Wechselbad der Gefühle, dass man will, aber nicht weiß, wie haltbar und nachhaltig das Ganze ist.” (Experte, Forschung B).

Tabelle 2 – Kategorien der Dimension „Material“

Material	Durchschnittlicher Anteil der Beiträge mit Nennung des Begriffs zwischen 2011 und 2016 in %	Änderung zwischen P1 und P2 in %
Kunststoff	71,79%	20,50%
Metall	23,37%	49,73%
Lebensmittel	5,43%	-75,21%
Keramik	4,41%	18,10%
Holz	2,75%	-36,60%

Die vergleichsweise seltene Nennung von **Metall** in den im online-Magazin publizierten Beiträgen zeigt ein eher geringes Interesse für dieses AM-Material. Ein Eindruck, der sich auch in den Interviews bestätigt – “Metall ist minimal. Von den 100 Anfragen, die wir im Jahr haben, sind vielleicht 2-3 für Metall. Das ist oft nicht ohne, was die Stützgeometrien angeht und auch von den Kosten her.” (Experte, Händler/Serviceanbieter). Metall wurde jedoch innerhalb des Untersuchungszeitraums als AM-Material attraktiver, auch wenn Experten bezweifeln, dass sich dieser Trend in der Zukunft fortsetzt – “Bei Metall merkt man dem Trend entsprechend, dass den Leuten das Wasser im Mund zusammenläuft. Die Frage ist, ob es nicht in den nächsten Jahren wieder einen Einbruch geben wird, weil das Produktivitätsthema jetzt noch nicht so ganz im Vordergrund steht, ich aber noch nicht in Aussicht habe, wie sie dieses Produktivitätssteigerungsthema im Metallbereich lösen wollen.” (Experte, Forschung B).

Bezüglich des Potenzials von **Lebensmitteln** für AM sind die Einschätzungen der Forscher einerseits und der politischen Entscheidungsträger und Interessensvertreter andererseits stark divergierend. Während Forscher

die hohen Kosten für die Einführung von AM und die geringen zusätzlichen Margen als Hauptgründe für den geringen Einsatz von Lebensmitteln in AM anführen – “Ich könnte mir vorstellen, dass das für einen klassischen Konditor auch einfach zu kompliziert ist, der ist ja gewöhnt, wie er seinen Zuckerguss macht, und wenn er jetzt anfangen muss CAD lernen, das kostet ihn was, einen Haufen Zeit und Aufwand, und wenn er für seine Zuckergusspralinen nur 50 Cent mehr verlangen kann als für die althergebrachten, dann zahlt sich das für ihn nicht aus.” (Experte, Forschung A), sehen sowohl Politiker als auch Interessensvertreter großes Potenzial für Lebensmittel als AM-Material – “Mich hat es gewundert, dass der Lebensmittelbereich als so wenig interessant erschienen ist. Gerade KMU können hier ja im kleinen Bereich etwas tun.” (Interessensvertreter).

Tabelle 5 – Analytische Kategorien und emblematische Sequenzen zu AM-Materialien

Material	Emblematische Sequenzen
Kunststoff	<p>Von der Druckbarkeit ist Kunststoff, insbesondere das bei FDM verwendete PLA, klar an der Spitze, weil es einfach ist, weil es keine giftigen Dämpfe gibt und weil es weit verbreitet das günstigste Material ist. Der größte Nachteil ist Hitzebeständigkeit. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Ich glaube, dass die Kunststofftechnik und Materialeigenschaften von Kunststoff im Schmelzverfahren schwieriger in Griff zu bekommen sind. Da merke ich auch ein Wechselbad der Gefühle, dass man will, aber nicht weiß, wie haltbar und nachhaltig das Ganze ist. (Experte, Forschung B)</p>
Metall	<p>Metalldrucker werden jene, die mit dem Produkt in Fertigung gehen können, und nicht diejenigen, die erst ein Funktions- oder Designmuster entwickeln. (Interessensvertreter)</p> <p>Metall ist minimal. Von den 100 Anfragen, die wir im Jahr haben, sind vielleicht 2-3 für Metall. Das ist oft nicht ohne, was die Stützgeometrien angeht und auch von den Kosten her. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Bei Metall merkt man dem Trend entsprechend, dass den Leuten das Wasser im Mund zusammenläuft. Die Frage ist, ob es nicht in den nächsten Jahren wieder einen Einbruch geben wird, weil das Produktivitätsthema jetzt noch nicht so ganz im Vordergrund steht, ich aber noch nicht in Aussicht habe, wie sie dieses Produktivitätssteigerungsthema im Metallbereich lösen wollen. (Experte, Forschung B)</p>
Lebensmittel	<p>Ich denke, dass die additive Fertigung von Lebensmitteln ein großes Potential bietet. (Politiker A)</p> <p>Mich hat es gewundert, dass der Lebensmittelbereich als so wenig interessant erschienen ist. Gerade KMU können hier ja im kleinen Bereich etwas tun. (Interessensvertreter)</p> <p>Ich könnte mir vorstellen, dass das für einen klassischen Konditor auch einfach zu kompliziert ist, der ist ja gewöhnt wie er seinen Zuckerguss macht, und wenn er jetzt anfangen muss CAD lernen, das kostet ihn was, einen Haufen Zeit und Aufwand, und wenn er für seine Zuckergusspralinen nur 50 Cent mehr verlangen kann als für die althergebrachten, dann zahlt sich das für ihn nicht aus. (Experte, Forschung A)</p>
Keramik	<p>Keramik ist kein großes Thema, aber ein machtvolleres Thema. Der für die Luftfahrt entwickelte LEAP Motor, zum Beispiel, konnte nur mit Hilfe von mit Keramik gedruckten Teilen entwickelt werden, weil die so hoch temperaturbeständig und so genau fertigbar waren. (Experte, Anwender)</p> <p>Keramik tangiert einerseits die Kreativszene, zum Beispiel Töpferei und Augarten Porzellan, und andererseits Hochleistungskeramik, die im Bereich der Biomedizin eingesetzt wird. Für die kleinen oder mittelgroßen österreichischen Unternehmen würde Hochleistungskeramik schon Potential bieten, weil man da auch Vorteile gegenüber Metallen hat, aber es kommt mir vor, dass die Unternehmen sich dieses Potentials noch nicht so ganz bewusst sind. (Experte, Forschung A)</p> <p>Ich könnte mir vorstellen, dass zum Beispiel die Schmuckbranche das Keramikthema für sich entdecken könnte. (Experte, Forschung B)</p>
Holz	<p>Ich denke, dass meine Kunden Holzfillamente künftig nur als technische Spielereien einsetzen werden. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Holz würde sich schon anbieten für den Bau- und Architekturbereich. Lignin, ein Abfallprodukt der Holzindustrie, könnte ja zum Beispiel auch für Schalungen oder Fassadenelemente verwendet werden. (Experte, Forschung A)</p> <p>Holz spielt, glaube ich, eine untergeordnete Rolle. Wer Holz haben will, will Holz haben und nicht Plastik im Holz drinnen. (Experte, Forschung B)</p>

Die Frequenzanalyse des online-Magazins zeigt eine geringe Bedeutung von **Keramik** als Material für AM. Während des Untersuchungszeitraums nahm die Bedeutung aber deutlich zu, was sowohl von Forschern als auch von Praktikern bestätigt wurde. Beide sehen ein breites Spektrum an zukünftigen Anwendungsgebieten für Keramik in AM. Genannte Anwendungsgebiete reichen von der Kreativwirtschaft über Medizin bis zum Flugzeugbau – von “Keramik tangiert einerseits die Kreativszene, zum Beispiel Töpferei und Augarten Porzellan, und andererseits Hochleistungskeramik, die im Bereich der Biomedizin eingesetzt wird.” (Experte, Forschung A) bis “Der für die Luftfahrt entwickelte LEAP Motor, zum Beispiel, konnte nur mit Hilfe von mit Keramik gedruckten Teilen entwickelt werden, weil die so hoch temperaturbeständig und so genau fertigbar waren.” (Experte, Anwender).

Die geringe Bedeutung von **Holz** als Material für AM ist durch die Notwendigkeit erklärbar, im Druckprozess Kunststoff beizumengen – “Wer Holz haben will, will Holz haben und nicht Plastik im Holz drinnen.” (Experte, Forschung B). Trotzdem können Holz und Holzabfallprodukte für bestimmte Anwendungsgebiete, wie beispielsweise die Bauindustrie oder Architektur, in Zukunft Bedeutung erlangen – “Lignin, ein Abfallprodukt der Holzindustrie, könnte ja zum Beispiel auch für Schalungen oder Fassadenelemente verwendet werden.” (Experte, Forschung A). Die Frequenzanalyse des online-Magazins deutet jedoch bisher eine abnehmende Bedeutung von Holz als AM-Material an.

5.1.2. AM Charakteristika

Im Hinblick auf die Charakteristika von AM werden **Kosten** sowohl von Interessensvertretern als auch Experten als wichtiger Faktor für die Entscheidung die Technologie einzusetzen angesehen. Es werden jedoch nicht nur die Kosten von AM berücksichtigt, sondern auch die Opportunitätskosten und die Möglichkeit die Gewinne durch den Einsatz dieser Technologie zu steigern – „Die Kunden fragen immer, was sie das kostet. Und sehr oft sage ich dann, ihr stellt die falsche Frage. Die Frage ist, was kostet es euch, wenn ihr das nicht macht, nicht was kostet euch, wenn ihr das macht.“ (Experte, Anwender).

Fact Box: AM Charakteristika

Der Diskurs zu AM-Verfahren fokussiert auf verfahrenstypische Charakteristika, die im Vergleich zu anderen Produktionsverfahren als Vor- oder Nachteil diskutiert werden.

Neben allgemeinen ökonomischen Charakteristika wird häufig der Aspekt Gewicht diskutiert, weil sich das Produktionsverfahren sehr gut für die Erstellung von Leichtbauteilen für die Luft- und Raumfahrt sowie für den Automotivsektor eignet. Dabei werden wabenförmige Strukturen realisiert, die bei gleicher Stabilität Gewichtseinsparungen von bis zu 60% ermöglichen.

Komplexität ist ein Begriff der ebenfalls häufig mit AM in Verbindung gebracht wird, weil der schichtförmige Aufbau die Realisierung von „komplexen“ Strukturen ermöglicht, die mittels anderer Verfahren nicht oder nur schwer möglich sind. So lassen sich beispielsweise durch die schichtförmige Produktion die oben genannten Wabenstrukturen und andere innenliegende Strukturen (zum Beispiel für die Kühlung von Werkzeugen) realisieren.

Individualisierung ist ein weiterer Aspekt im AM-Diskurs. Das Schichtbauverfahren bietet eine formlose automatisierte Methode, mit der individuelle Aspekte ab der ersten Losgröße automatisiert produziert werden können. Sportschuhhersteller bieten beispielsweise Schuhe an die vorab vom Kunden online individualisiert werden können.

Der Faktor Geschwindigkeit wird üblicherweise im Zusammenhang mit AM negativ diskutiert, weil AM eine vergleichsweise langsame Aufbaurate im Vergleich zu anderen Produktionsverfahren aufweist. Oft wird Geschwindigkeit als Flaschenhals für den breiten Einsatz von AM gesehen. Neue Entwicklungen, beispielsweise Parallelverarbeitung, könnten diese Hürde für AM-Anwendungen künftig reduzieren.

Der Aspekt Nachhaltigkeit bezieht sich vor allem auf die Möglichkeit der Produktion vor Ort, wodurch Logistikaufwand und damit Verkehrsaufkommen und CO₂-Ausstoß reduziert werden können. Material und Energie werden bei AM im Vergleich zu herkömmlichen Produktionsverfahren jedoch nicht gespart, sobald die Herstellung der Ausgangsmaterialien berücksichtigt wird.

Tabelle 3 – Kategorien der Dimension „Charakteristika“

Charakteristikum	Durchschnittlicher Anteil der Beiträge mit Nennung des Begriffs zwischen 2011 und 2016 in %	Änderung zwischen P1 und P2 in %
Kosten	8,88%	79,49%
Gewicht	6,11%	25,09%
Komplexität	4,61%	131,28%
Individualisierung	3,70%	145,57%
Geschwindigkeit	3,25%	114,03%
Nachhaltigkeit	2,66%	47,63%

Die Möglichkeit **Gewicht** zu reduzieren wird durchgehend als wesentlicher Vorteil von AM angesehen – „Die zentralen Verkaufsargumente für AM sind weniger Gewicht und mehr Effizienz.“ (Experte, Forschung A). Im Gegensatz dazu stimmen die Experten jedoch nicht zur Gänze überein, welche Vorteile das Charakteristikum Komplexität mit sich bringen könnte. Zum einen scheinen Nutzer die Möglichkeit komplexe Designs herzustellen oftmals für selbstverständlich zu halten – „Die meisten erwarten, dass sie komplexe Produkte drucken können, wenn sie einen 3D Drucker kaufen.“ (Experte, Händler/Serviceanbieter). Zum anderen werden Nutzer bestehende Produkte nicht komplexer gestalten, nur um AM einzusetzen zu können. Vielmehr werden sie die Technologie nur dann in Erwägung ziehen, wenn sie ein neues Produkt entwickeln, das so komplex ist, dass es nur mit Hilfe von AM hergestellt werden kann. – „Ich mache mein Produkt nicht komplexer, damit ich es additiv fertigen kann. Komplexität kann das Ergebnis eines neuen Designs sein, das ich dann mit additiver Fertigung realisieren kann.“ (Experte, Forschung B).

Obwohl sowohl politische Entscheidungsträger als auch Experten **Individualisierung** als erheblichen Vorteil von AM ansehen – „Ich sehe einen der größten Vorteile additiver Fertigung in der individuellen gewerblichen Fertigung, zum Beispiel von Prothesen.“ (Politikerin B), spiegelt sich diese Sichtweise nur teilweise in der Frequenzanalyse des online-Magazins wider, da die Bedeutung dieses Themas trotz des deutlichen Anstiegs zwischen P1 und P2 insgesamt recht niedrig ist. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz könnte sein, dass potentielle Nutzer die Vorteile, die die Möglichkeit der Individualisierung bietet, noch nicht realisiert haben – „Es wundert mich, dass Individualisierung keine größere Rolle spielt, aber das hängt vielleicht damit zusammen, dass die additive Denkweise vielleicht noch nicht so etabliert ist.“ (Experte, Forschung B). Darüber hinaus könnte Individualisierung aber auch einfach in der jeweiligen Branche keine Rolle spielen – „Individualisierung ist kein großes Thema für uns. Meistens bekommen wir ja schon fertige Daten von den Industriekunden oder optimieren diese selbst mit CAD.“ (Experte, Händler/Serviceanbieter).

Sowohl politische Entscheidungsträger als auch Experten sehen **Geschwindigkeit** als entscheidendes Charakteristikum von AM, da es Unternehmen erlaubt ihre Durchlaufzeiten zu reduzieren und rasch auf Änderungen in der Nachfrage zu reagieren – „Insbesondere während der Entwicklungsphase hilft AM die Durchlaufzeiten zu beschleunigen.“ (Experte, Forschung B). Geschwindigkeit sollte dennoch nicht der einzige Grund sein, AM als Produktionsverfahren zu wählen. Sofern die Technologie nicht in die Wertschöpfungskette des Unternehmens integriert werden kann, sollten Unternehmen trotz einer möglichen Reduktion der Durchlaufzeiten davon absehen AM einzuführen. – „Für Kunden muss alles schnell gehen. Ob es richtig ist, ist zweitrangig, es muss immer schnell sein.“ (Experte, Anwender).

Die geringe Anzahl an Beiträgen zum Charakteristikum **Nachhaltigkeit** im online-Magazin kann durch die

geringe Verbreitung von AM erklärt werden – „Ich brauche mir jetzt noch nicht Gedanken über die Nachhaltigkeit einer Technologie machen, wenn ich noch nicht einmal eine breite Anwendung für sie habe. „(Experte, Forschung B). Sobald AM, insbesondere die Verwendung von Kunststoff in AM, weiterverbreitet ist, wird die Nachhaltigkeit dieser Technologie eine größere Rolle spielen – „Gerade im Polymerbereich wird die ganze Abfallproblematik schon noch ein Thema werden. Derzeit sind die Mengen zu gering, ein paar Tonnen 3D gedruckte Polymere gehen schlicht und einfach unter wenn man das mit der Verpackungsindustrie vergleicht.“ (Experte, Forschung A).

Tabelle 6 – Analytische Kategorien und emblematische Sequenzen zu AM-Charakteristika

Charakteristikum	Emblematische Sequenzen
Kosten	<p>Unternehmen müssen zuerst sehr viel investieren in einen Drucker und der Drucker sollte sich nach spätestens 3 Jahren rechnen. Die Frage ist, ob die jetzigen Geräte schon so anwendungsnahe sind, dass das geht. (Interessensvertreter)</p> <p>Kosten sind ein Riesenthema. Insbesondere Privatkunden unterschätzen die hohen Kosten, wenn sie Dienstleistungen zukaufen. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Die Kunden fragen immer, was sie das kostet. Und sehr oft sage ich dann, ihr stellt die falsche Frage. Die Frage ist, was kostet es euch, wenn ihr das nicht macht, nicht was kostet euch, wenn ihr das macht. (Experte, Anwender)</p> <p>Die Erfolgsgeschichten im 3D Druck sind eher die von Unternehmen, die Mehrwert erzeugen und dann auch mehr verlangen können. (Experte, Forschung A)</p> <p>Oft fragen Unternehmen nur, ob sie mit AM billiger produzieren können. Die Frage sollte aber eher sein, ob die Unternehmen die Technologie in ihre Wertschöpfungskette integrieren und Gewinne über die Lebensdauer des Produkts erzielen können. (Experte, Forschung B)</p>
Gewicht	<p>Die zentralen Verkaufsargumente für AM sind weniger Gewicht und mehr Effizienz. (Experte, Forscher A)</p>
Komplexität	<p>Die meisten erwarten, dass sie komplexe Produkte drucken können, wenn sie einen 3D Drucker kaufen. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Ich mache mein Produkt nicht komplexer, damit ich es additiv fertigen kann. Komplexität kann das Ergebnis eines neuen Designs sein, das ich dann mit additiver Fertigung realisieren kann. (Experte, Forschung B)</p>
Individualisierung	<p>Ich sehe einen der größten Vorteile additiver Fertigung in der individuellen gewerblichen Fertigung, zum Beispiel von Prothesen. (Politikerin B)</p> <p>Individualisierung ist kein großes Thema für uns. Meistens bekommen wir ja schon fertige Daten von den Industriekunden oder optimieren diese selbst mit CAD. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Es wundert mich, dass Individualisierung keine größere Rolle spielt, aber das hängt vielleicht damit zusammen, dass die additive Denkweise vielleicht noch nicht so etabliert ist. Ich denke, dass Individualisierung die Möglichkeit bietet neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. (Experte, Forschung B)</p>
Geschwindigkeit	<p>Für Unternehmen ist eines der größten Potentiale von additiver Fertigung neben der lokalen Produktion auch die on-demand Produktion. (Politikerin A)</p> <p>Insbesondere KMUs profitieren von AM, weil ihnen AM hilft schnell auf Marktänderungen zu reagieren. (Politikerin B)</p> <p>Den Kunden reicht es meistens, wenn wir innerhalb einer angemessenen Frist liefern. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Für Kunden muss alles schnell gehen. Ob es richtig ist, ist zweitrangig, es muss immer schnell sein. (Experte, Anwender)</p> <p>Insbesondere während der Entwicklungsphase hilft AM die Durchlaufzeiten zu beschleunigen. (Experte, Forschung B)</p>
Nachhaltigkeit	<p>AM hilft lokal zu produzieren. (Politikerin A)</p> <p>Gerade im Polymerbereich wird die ganze Abfallproblematik schon noch ein Thema werden. Derzeit sind die Mengen zu gering, ein paar Tonnen 3D gedruckte Polymere gehen schlicht und einfach unter wenn man das mit der Verpackungsindustrie vergleicht. (Experte, Forschung A)</p> <p>Ich brauche mir jetzt noch nicht Gedanken über die Nachhaltigkeit einer Technologie machen, wenn ich noch nicht einmal eine breite Anwendung für sie habe. (Experte, Forschung B)</p>

5.1.3. AM Anwendungsgebiete

Im Gegensatz zu den aus der Frequenzanalyse des online-Magazins gewonnen Ergebnissen wird die Erstellung von **Prototypen** trotz dessen Bedeutung für Unternehmen nicht als großes Thema angesehen. – „Auch heute noch wird die Prototypenfertigung in der Berichterstattung über AM als das große Thema herausgehoben. Für Unternehmen ist es ein relevantes Thema, aber als Hype-Thema ist es eigenartig.“ (Experte, Forschung B). Im Hinblick auf medizinische Anwendungsgebiete stimmen politische Entscheidungsträger und Experten überein, dass AM

enormes Anwendungspotential hat, das von Tissue Engineering – „Ich denke, dass AM im medizinischen Bereich großes Potential hat, insbesondere im Hinblick auf Tissue Engineering.“ (Politikerin A), bis zu Dentalanwendungen reicht – „Die Dentalbranche hat bereits begonnen AM einzusetzen. Hier werden wir in den nächsten Jahren einen sehr starken Anstieg sehen.“ (Experte, Forscher A). Die steigende Relevanz von AM für die industrielle Produktion, die durch die Frequenzanalyse vermittelt wurde, wird auch von den Interviewpartnern bestätigt – „Die industrielle Produktion ist der Bereich, wo ich merke, dass alle an AM interessiert sind und nach Wegen suchen, um die Technologie einzusetzen.“ (Experte, Forschung B). Unternehmen in diesem Bereich können sich besser gegen Immaterialgüterrechtsverletzungen verteidigen – „Für Unternehmen, die in der industriellen Produktion tätig sind, ist es üblicher Weise einfacher ihre Rechte im Fall von Immaterialgüterrechtsverletzungen durchzusetzen.“ (Experte, rechtliche Rahmenbedingungen), was wiederum die mit AM verbundenen Risiken reduziert.

Fact Box: Anwendungsgebiete

AM stellt eine Variante der digitalen Produktion dar, die aufgrund der zahlreichen zur Verfügung stehenden Verfahren und Materialien breite Anwendungsmöglichkeiten bietet.

Der starke Fokus auf die Erstellung von Prototypen ist historisch bedingt. Die ersten AM-Technologien wurden ausschließlich zur schnellen Erstellung von Modellen („Rapid Prototyping“) entwickelt und eingesetzt. Auch heute stellt die Prototypenherstellung einen wirtschaftlich bedeutenden Faktor in der AM-Industrie dar.

Andere Anwendungsgebiete finden sich vor allem in low-volume und high-margin Bereichen der Medizin, Industrie oder Schmuckherstellung. AM ist besonders attraktiv in Anwendungsgebieten, in denen typische Charakteristika wie Komplexität oder Gewicht, bedeutende Vorteile gegenüber herkömmlichen Produktionsverfahren bieten.

Tabelle 4 – Kategorien der Dimension „Anwendungsgebiete“

Anwendungsgebiete	Durchschnittlicher Anteil der Beiträge mit Nennung des Begriffs zwischen 2011 und 2016 in %	Änderung zwischen P1 und P2 in %
Prototyping	59,51%	0,30%
Medizin	49,47%	16,54%
Industrielle Produktion	29,93%	92,11%
Werkzeugbau	28,05%	-0,56%
Kunst	27,84%	-0,19%
Flugzeugbau	22,59%	90,14%
Dienstleistung	22,33%	17,84%
Handel	20,64%	54,63%
Forschung	16,57%	-6,55%
Hobby	14,15%	-19,91%
Bau	11,17%	-53,41%
Mode	9,26%	81,85%
Automotive	8,41%	56,83%
Schmuck	4,87%	20,04%
Bildung	3,05%	194,42%

Sowohl Interessensvertreter als auch Experten sehen großes Potential für AM im **Werkzeugbau**, da dieses Anwendungsgebiet Unternehmen ermöglicht Ersatzteile selbst jederzeit additiv herzustellen und dadurch Lagerhaltungskosten zu verringern und die Unabhängigkeit von Lieferanten zu erhöhen. – „Jeder, der eine Fertigungsstraße hat, hat immer irgendwelche kleinen Teile, die heutzutage gefräst oder teuer zugekauft werden, obwohl man sie sich selbst ausdrucken könnte. Das Potential ist riesig, die Implementierung von AM ist aber sehr beratungsintensiv.“ (Experte, Händler/Serviceanbieter). Experten sehen auch die Kunstbranche als mögliches Anwendungsgebiet von AM. Unternehmen, die in dieser Branche tätig sind, werden jedoch noch mehr Zeit benötigen, um die mit dem Einsatz von AM verbundenen Vorteile zu erkennen. – „AM könnte im Kunstbereich leicht eingesetzt werden, zum Beispiel für die Restaurierung von Kunstschatzen. Unternehmen müssen jedoch erst die Möglichkeiten erforschen, wie sie die Technologie einsetzen können.“ (Experte, Forschung A).

Tabelle 7 - Analytische Kategorien und emblematische Sequenzen zu AM-Anwendungsgebieten

Anwendungs- gebiet	Emblematische Sequenzen
Prototypen	Auch heute noch wird die Prototypenfertigung in der Berichterstattung über AM als das große Thema herausgehoben. Für Unternehmen ist es ein relevantes Thema, aber als Hype-Thema ist es eigenartig. (Experte, Forschung B)
Medizin	<p>Ich denke, dass AM im medizinischen Bereich großes Potential hat, insbesondere im Hinblick auf Tissue Engineering. (Politikerin A)</p> <p>AM ist unglaublich wichtig für medizinische Anwendungen, beispielsweise Prothesen. (Politikerin B)</p> <p>Ich sehe bei Zahntechnikern einen möglichen Einsatzbereich von AM. (Interessensvertreter)</p> <p>Ich habe viele Spitäler, die 3D Drucker kaufen, als Kunden. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Die Dentalbranche hat bereits begonnen AM einzusetzen. Hier werden wir in den nächsten Jahren einen sehr starken Anstieg sehen. (Experte, Forschung A)</p>
Industrielle Produktion	<p>Wir haben zu 99% B2B Kunden und das sind fast immer Industriekunden. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Tendenziell sieht man, dass die industrielle Produktion im Bereich AM stark angestiegen ist, stärker als das Gewerbe. (Experte, Forschung A)</p> <p>Die industrielle Produktion ist der Bereich, wo ich merke, dass alle an AM interessiert sind und nach Wegen suchen, um die Technologie einzusetzen. (Experte, Forschung B)</p> <p>Für Unternehmen, die in der industriellen Produktion tätig sind, ist es üblicher Weise einfacher ihre Rechte im Fall von Immaterialgüterrechtsverletzungen durchzusetzen. (Experte, rechtliche Rahmenbedingungen)</p>
Werkzeug- bau	<p>Ich denke, dass Werkzeugbau ein potentielles Anwendungsgebiet von AM ist. Wenn ein Unternehmen irgendwo eine Spezialmaschine hat, die einen Ersatzteil benötigt, kann ich jemandem ein Druckfile schicken und der stellt ein Teil her, druckt das mehr oder minder vor Ort aus und das ist es. (Interessensvertreter)</p> <p>Jeder, der eine Fertigungsstraße hat, hat immer irgendwelche kleinen Teile, die heutzutage gefräst oder teuer zugekauft werden, obwohl man sie sich selbst ausdrucken könnte. Das Potential ist riesig, die Implementierung von AM ist aber sehr beratungsintensiv. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Beim Thema Werkzeugbau habe ich das Gefühl, dass das ein Anwendungsgebiet ist, bei dem die Leute merken, dass das schon etwas ist, wo man mit dieser Technologie ganz gut herankommt. (Experte, Forschung B)</p>
Kunst	<p>AM könnte im Kunstbereich leicht eingesetzt werden, zum Beispiel für die Restaurierung von Kunstschatzen. Unternehmen müssen jedoch erst die Möglichkeiten erforschen, wie sie die Technologie einsetzen können. (Experte, Forschung A)</p> <p>Ich glaube, dass die industrielle Relevanz von AM für die Kunstbranche noch nicht realisiert wurde. (Experte, Forschung B)</p>
Flugzeugbau	Die Unternehmen in diesem Bereich wollen natürlich viel machen. Derzeit sind Airbus und GE die Hauptakteure. (Experte, Forschung B)

Anwendungs- gebiet	Emblematische Sequenzen	Fortsetzung der Tabelle
Dienstleistung	<p>Meiner Ansicht nach wären Copy Shops für AM eine gute Geschäftsidee. (Interessensvertreter)</p> <p>Dienstleister haben viel Knowhow was die Beherrschbarkeit betrifft. Insbesondere bei teureren Technologien bieten Dienstleister die Möglichkeit zu erforschen, wer was weiß oder welche Anlage was kann. (Experte, Forschung B)</p> <p>Ich habe die Nachteile unterschätzt in den ersten zwei Jahren, insbesondere im Hinblick auf den rapiden Anstieg bei der Kundenbetreuung. Kunden haben permanent angerufen mit Problemfällen, es fängt ja mit Haftungsproblemen an und reicht bis zu verstopften Düsen. Zwei Drittel der Unternehmen, die 2014 ein Dienstleistungsstartup gegründet haben, sind aus der Branche schon wieder ausgestiegen, weil sie die Komplexität unterschätzt haben. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p>	
Forschung	<p>Viele Unternehmen haben keine F&E Abteilung mehr, weil sie die Leute dafür nicht zahlen wollen. Wenn es das nicht mehr gibt, gibt es überhaupt niemanden mehr, der aufzeigen kann, wie 3D Druck verwendet werden könnte, um das Produkt so ändern, dass es effizienter in der Fertigung wird, oder um neue Produkte zu entwickeln. (Experte, Anwender)</p> <p>Schulen haben schon sehr viele 3D Drucker stehen und machen damit auch Projekte, aber auf den Universitäten könnte meiner Meinung nach um einiges mehr passieren. (Experte, Forschung B)</p>	
Hobby	Ich halte es für unrealistisch, dass jeder einen 3D Drucker zu Hause hat. Ich bin skeptisch bezüglich der Akzeptanz und der Schnittstellen, nicht so sehr wegen der technischen Machbarkeit. (Politikerin B)	
Bau	<p>Derzeit ist die Nachfrage im Bereich Architektur relativ schwach, vielleicht weil man da altmodisch ist und nicht den einen oder anderen Tausender in AM investieren möchte. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Wo es in meinen Augen noch nicht ganz klar ist, wie sich der Bereich entwickeln wird, ist Architektur. Ich denke, dass das Potential da wäre, um zum Beispiel Fassadelemente von Wiener Gründerhäusern oder Schalungen zu drucken. (Experte, Forschung A)</p>	
Mode	Mode ist zwar interessant für den Designerbereich, es wird aber sicher noch länger dauern bis der Bereich mehr Bedeutung erlangt. (Experte, Forschung A)	
Automotive	<p>Was im Automobilbereich natürlich schon ein Thema sein könnte, ist der Ersatzteilbereich. Wenn ich einen Oldtimer mit einem gesprungenen Zylinderkopf habe, könnte ich den Teil einfach einscannen, eine Druckdatei erstellen und den Ersatzteil einfach ausdrucken. (Interessensvertreter)</p> <p>Die Automobilindustrie macht ja wirklich viel im Bereich AM, aber es wird nicht viel darüber gesprochen. Ich glaube, dass AM zu sehr das Zukunftsgeschäft tangiert, da gibt man dann zu viel preis über die zukünftige Modellpalette. (Experte, Forschung A)</p>	
Schmuck	<p>AM wird in der Schmuckbranche oft eingesetzt, aber die Branche als solche ist nicht sehr groß in Österreich. (Experte, Forschung A)</p> <p>AM ist prädestiniert für den Schmuckbereich. Ich glaube aber, dass Schmuckdesigner AM einfach einsetzen und nicht großartig darüber reden, weil sie ja nicht an der Technologie, sondern der Realisierung ihrer Idee interessiert sind. (Experte, Forschung B)</p>	
Bildung	<p>Durch das Bildungssystem sollten insbesondere die Offenheit für und die Neugierde an künftigen Technologien, wie AM, gefördert werden. Lehrpläne sollten daher auch möglichst früh Programmierkenntnisse und logisches Denken beinhalten. (Politikerin A)</p> <p>AM könnte bei bestimmten Lehrberufen vermittelt werden, zum Beispiel im Bereich der Kunststoffverarbeitung oder der Baumeisterausbildung. (Interessensvertreter)</p> <p>Weiterbildung funktioniert umso besser, je größer der Betrieb ist. In kleinen Betrieben muss zuerst der Chef überzeugt werden, dass es sich lohnt AM auszuprobieren, bevor man einen Kurs zu diesem Thema besuchen kann. (Interessensvertreter)</p> <p>Für ein grundlegendes Verständnis von AM würde es reichen zu wissen, wie ein MakerBot funktioniert. (Experte, Händler/Serviceanbieter)</p> <p>Ich sehe die Schwächen im Bildungssystem in zwei unterschiedlichen Bereichen: zum einen sollten Schulen wesentlich mehr Informatikkenntnisse im Lehrplan haben; zum anderen sollten Unternehmen besser über Immaterialgüterrechte informiert sein. (Experte, rechtliche Rahmenbedingungen)</p>	

Im Vergleich zur Größe der Branche nimmt der **Flugzeugbau** einen relativ hohen Anteil der Berichterstattung im online-Magazin ein, was insbesondere auf die Tätigkeiten von Airbus und GE zurückzuführen ist – „Die Unternehmen in diesem Bereich wollen natürlich viel machen. Derzeit sind Airbus und GE die Hauptakteure.“

(Experte, Forschung B). Obwohl die Frequenzanalyse des online-Magazins eine untergeordnete Rolle der Dienstleistungsbranche für AM vermittelt, heben Experten die Bedeutung dieser Branche für den AM Markt, insbesondere für neu in diesen Markt eintretende Unternehmen, hervor. Dienstleister haben üblicher Weise gute Kenntnisse über die Handhabung unterschiedlicher AM Maschinen und Materialien und können daher Unternehmen beraten, ob es für sie Sinn macht AM einzusetzen und, wenn ja, wie AM in die Produktion integriert werden kann – „Dienstleister haben viel Knowhow was die Beherrschbarkeit betrifft. Insbesondere bei teureren Technologien bieten Dienstleister die Möglichkeit zu erforschen, wer was weiß oder welche Anlage was kann.“ (Experte, Forschung B). Zwar erfüllen Dienstleister wichtige Funktionen, doch stehen sie auch Herausforderungen gegenüber, beispielsweise dem Kundenservice, das zu Beginn oftmals unterschätzt wird und einige Jahre später dazu führt, dass Unternehmen wiederum aus dem Markt aussteigen – „Ich habe die Nachteile unterschätzt in den ersten zwei Jahren, insbesondere im Hinblick auf den rapiden Anstieg bei der Kundenbetreuung. Kunden haben permanent angerufen mit Problemfällen, es fängt ja mit Haftungsproblemen an und reicht bis zu verstopften Düsen. Zwei Drittel der Unternehmen, die 2014 ein Dienstleistungsstartup gegründet haben, sind aus der Branche schon wieder ausgestiegen, weil sie die Komplexität unterschätzt haben.“ (Experte, Händler/Serviceanbieter). Trotz des erheblichen Anstiegs der Beiträge im online-Magazin zum Thema Handel kommentierte keiner der Interviewpartner dieses Anwendungsgebiet.

Experten sehen sowohl bei Unternehmen als auch Universitäten Handlungsbedarf im Bereich **Forschung** – von „Viele Unternehmen haben keine F&E Abteilung mehr, weil sie die Leute dafür nicht zahlen wollen. Wenn es das nicht mehr gibt, gibt es überhaupt niemanden mehr, der aufzeigen kann, wie 3D Druck verwendet werden könnte, um das Produkt so ändern, dass es effizienter in der Fertigung wird, oder um neue Produkte zu entwickeln.“ (Experte, Anwender), zu „Schulen haben schon sehr viele 3D Drucker stehen und machen damit auch Projekte, aber auf den Universitäten könnte meiner Meinung nach um einiges mehr passieren.“ (Experte, Forschung B). In Übereinstimmung mit der abnehmenden Anzahl von Beiträgen zum Thema Hobby im online-Magazin wird das Potential von AM in dieses Anwendungsgebiet als niedrig angesehen – „Ich halte es für unrealistisch, dass jeder einen 3D Drucker zu Hause hat. Ich bin skeptisch bezüglich der Akzeptanz und der Schnittstellen, nicht so sehr wegen der technischen Machbarkeit.“ (Politikerin B).

Trotz des deutlichen Rückgangs der Anzahl von Beiträgen zum Anwendungsgebiet **Bau** im online-Magazin zwischen 2011 und 2016, möglicherweise aufgrund des Vorherrschens traditionell denkender Unternehmen in dieser Branche und des daraus resultierenden geringen Interesses in AM zu investieren – „Derzeit ist die Nachfrage im Bereich Architektur relativ schwach, vielleicht weil man da altmodisch ist und nicht den einen oder anderen Tausender in AM investieren möchte.“ (Experte, Händler/Serviceanbieter), sehen Experten das Potential AM künftig beispielsweise für die Herstellung von Fassadenelementen zu verwenden – „Ich denke, dass das Potential da wäre, um zum Beispiel Fassadenelemente von Wiener Gründerhäusern oder Schalungen zu drucken.“ (Experte, Forschung A). Im Hinblick auf das Anwendungsgebiet Mode denken Experten, dass das Potential von AM in diesem Bereich derzeit noch nicht genutzt wird – „Mode ist zwar interessant für den Designerbereich, es wird aber sicher noch länger dauern bis der Bereich mehr Bedeutung erlangt.“ (Experte, Forschung B).

Sowohl der Interessensvertreter als auch einer der Experten sehen die **Automobilbranche** als mögliches Anwendungsgebiet von AM, beispielsweise für die Herstellung von Ersatzteilen oder von Prototypen für neue Baureihen – „Was im Automobilbereich natürlich schon ein Thema sein könnte, ist der Ersatzteilbereich. Wenn

ich einen Oldtimer mit einem gesprungenen Zylinderkopf habe, könnte ich den Teil einfach einscannen, eine Druckdatei erstellen und den Ersatzteil einfach ausdrucken.” (Interessensvertreter). Die vergleichsweise niedrige Anzahl an Beiträgen zu diesem Thema im online-Magazin, die den Einsatz von AM in der Automobilbranche nicht adäquat widerzuspiegeln scheint, könnte auf die Zurückhaltung der Automobilhersteller über den Einsatz von AM zu sprechen zurückgeführt werden, da dieser häufig mit dem zukünftigen Geschäft in Verbindung steht – „Die Automobilindustrie macht ja wirklich viel im Bereich AM, aber es wird nicht viel darüber gesprochen. Ich glaube, dass AM zu sehr das Zukunftsgeschäft tangiert, da gibt man dann zu viel preis über die zukünftige Modellpalette.” (Experte, Forschung A).

Die **Schmuckbranche** wird von den Interviewpartnern als vielversprechendes Anwendungsgebiet von AM gesehen. Die geringe Anzahl an Beiträgen zu diesem Thema im online-Magazin spiegelt daher nicht die begrenzten Möglichkeiten AM in dieser Branche einzusetzen wider, sondern ist eher auf die geringe Größe der Branche in Österreich und die geringe Kommunikation der Schmuckdesigner zu ihren Fertigungsmethoden zurückzuführen – „AM ist prädestiniert für den Schmuckbereich. Ich glaube aber, dass Schmuckdesigner AM einfach einsetzen und nicht großartig darüber reden, weil sie ja nicht an der Technologie, sondern der Realisierung ihrer Idee interessiert sind.” (Experte, Forschung B).

Politische Entscheidungsträger und Experten sehen die Notwendigkeit ein System im Bereich der **Bildung** zu etablieren, das die Neugierde der Schüler und Studierenden sowie deren Offenheit für AM von klein auf fördert, indem aktuelles Wissen zu dieser Technologie in die Lehrpläne von Schulen, bestimmten Lehren und Universitäten integriert wird – „Durch das Bildungssystem sollten insbesondere die Offenheit für und die Neugierde an künftigen Technologien, wie AM, gefördert werden. Lehrpläne sollten daher auch möglichst früh Programmierkenntnisse und logisches Denken beinhalten.” (Politikerin A). Über die Integration von AM in das Bildungssystem hinaus sollte auch Weiterbildung gefördert werden. Dies kann insbesondere für kleine Unternehmen eine Herausforderung darstellen, da Mitarbeiter zunächst das Interesse des Managements gewinnen müssen, bevor sie Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich AM besuchen dürfen – „Weiterbildung funktioniert umso besser, je größer der Betrieb ist. In kleinen Betrieben muss zuerst der Chef überzeugt werden, dass es sich lohnt AM auszuprobieren, bevor man einen Kurs zu diesem Thema besuchen kann.” (Interessensvertreter).

5.2. Interpretation der zukünftigen AM-Landkarte

5.2.1. AM Materialien in den Anwendungsgebieten

Die Auswertung der Diskurse des online-Magazins bezüglich der für AM eingesetzten Materialien ist über die Anwendungsgebiete hinweg klar von Kunststoff und Metall dominiert. Während Kunststoff hauptsächlich im Zusammenhang mit industrieller Produktion, Dienstleistungen und Schmuck, gefolgt von Medizin und Prototyping genannt wird, wird der Einsatz von Metall hauptsächlich in den Bereichen industrielle Produktion, Dienstleistungen und Forschung diskutiert. Interessanterweise hat sich innerhalb des Betrachtungszeitraums der Diskurs zu Metall als AM-Material in den für den Metallverarbeitung typischen Bereichen industrielle Produktion, Werkzeugbau, Flugzeugbau und Automotiv kaum verändert. Die Bedeutung von Metall als AM-Material ist zwischen 2011 und 2016 jedoch in den Bereichen Medizin, Prototyping und Schmuck gestiegen. Metall scheint somit auch in Bereichen, die traditionell nicht von Metall dominiert werden, Potenzial für AM zu haben.

Keramik wird meist in Zusammenhang mit industrieller Produktion und Forschung diskutiert. Diese beiden Anwendungsgebiete von Keramik bei AM haben innerhalb des Betrachtungszeitraums auch deutlich an Bedeutung gewonnen. Auch die Bedeutung von Keramik als Material für AM im Dienstleistungsbereich ist deutlich gestiegen, auch wenn dieses Material nach absoluten Zahlen nur einen geringen Raum im online-Magazin einnimmt. Für Lebensmittel ist das meist diskutierte Anwendungsgebiet die Medizin. Neben für die Medizin attraktiven diätologischen Möglichkeiten von Lebensmitteln als AM-Material, ist dieses Ergebnis sicherlich auch davon getrieben, dass Beiträge zu Lebensmitteln meist auch Angaben zu Nährwerten enthalten. Medizin als AM Anwendungsgebiet konnte seine Bedeutung zwischen 2011 und 2016 erheblich steigern. Einzig Prototyping konnte als AM-Anwendungsgebiet einen ähnlichen Bedeutungszuwachs verbuchen. Nur zwei Anwendungsgebiete verloren im Betrachtungszeitraum an Bedeutung: Forschung und Hobby.

Tabelle 8 – Heat Map AM-Materialien/Anwendungsgebiete

	Kunststoff	Metall	Keramik	Lebensmittel	Holz
Industrielle Produktion	5 (++)	5 (+/-)	4 (++)	3 (+)	3 (+/-)
Dienstleistung	5 (++)	4 (++)	3 (++)	3 (-)	2 (+/-)
Forschung	3 (+)	4 (++)	4 (++)	3 (--)	3 (+)
Medizin	4 (+)	3 (++)	3 (-)	4 (++)	n.a.
Prototyping	4 (++)	3 (++)	2 (+/-)	3 (++)	1 (+/-)
Mode	3 (+/-)	3 (+)	2 (+/-)	3 (+/-)	2 (+/-)
Bau	3 (++)	2 (+)	2 (+/-)	3 (+/-)	3 (++)
Schmuck	5 (+)	3 (++)	1 (+/-)	1 (+/-)	n.a.
Werkzeugbau	3 (++)	3 (+/-)	2 (+/-)	2 (+/-)	n.a.
Handel	3 (++)	2 (+/-)	2 (+/-)	1 (+/-)	2 (+/-)
Flugzeugbau	3 (++)	3 (+/-)	2 (+/-)	1 (+/-)	n.a.
Bildung	2 (+/-)	3 (+/-)	2 (+/-)	1 (+/-)	n.a.
Hobby	3 (+)	2 (+/-)	1 (+/-)	2 (--)	n.a.
Kunst	n.a.	2 (+/-)	2 (+)	2 (+/-)	1 (+/-)
Automotive	2 (+/-)	1 (+/-)	1 (+/-)	1 (+/-)	n.a.

Anmerkungen:

Die Tabelle zeigt die Häufigkeit der gemeinsamen Nennung von Kategorien der Dimensionen AM-Materialien und AM-Anwendungsgebiete zwischen 2011 und 2016. 1 entspricht der geringsten gewichteten Häufigkeit der gemeinsamen Nennung, während 5 die höchste gewichteten Häufigkeit der gemeinsamen Nennung anzeigt. n.a. impliziert, dass zu diesem Diskurs kein Artikel zwischen 2011 und 2016 publiziert wurde.

Die Vorzeichen in Klammern geben die Veränderung der Häufigkeit gemeinsamer Nennungen von Begriffen der Kategorien AM-Materialien und AM-Anwendungsgebiete zwischen P1 und P2 an: ++ starker Anstieg (>+50%), + leichter Anstieg (>+10% bis ≤+50%), +/- stagnierend (≥-10% bis ≤+10%), - leichte Abnahme (<-10% bis ≥-50%), -- starke Abnahme (>-50%).

Unsere Ergebnisse zeigen eine relative geringe Bedeutung von Holz als AM-Material. Zum einen wird Holz nur selten bis durchschnittlich gemeinsam mit einem Anwendungsgebiet genannt und zum anderen wird Holz zwischen 2011 und 2016 als AM-Material in vielen Anwendungsgebieten wie Medizin, Flugzeugbau oder Bildung gar nicht genannt. In einem Anwendungsgebiet zeigte Holz jedoch einen starken Bedeutungszuwachs, nämlich Bau.

5.2.2. AM Charakteristika in den Anwendungsgebiete

Hinsichtlich der AM-Charakteristika zeigt die Analyse der Beiträge des online-Magazins, dass in den

meisten Anwendungsgebieten der dominante Diskurs auf die Kosten fokussiert. Das gilt besonders für die Anwendungsgebiete industrielle Produktion und Schmuck, aber in abgeschwächter Form auch für die Gebiete Forschung, Prototyping, Medizin und Dienstleistungen. Zudem nahm über die Anwendungsgebiete hinweg die Bedeutung der Kosten in der Diskussion zu AM zwischen 2011 und 2016 deutlich zu. Hingegen wird der Aspekt Gewicht als Charakteristikum von AM nur in einer vergleichsweise geringen Anzahl an Beiträgen im online-Magazin thematisiert. Im Betrachtungszeitraum gewann Gewicht im AM Diskurs aber erheblich an Bedeutung. Ebenso thematisieren relativ wenige im online-Magazin publizierte Beiträge die Aspekte Individualisierung und Geschwindigkeit. Der Aspekt Individualisierung gewann zwischen 2011 und 2016 aber an Bedeutung in den Diskursen zu den Anwendungsgebieten industrielle Produktion, Prototyping und Dienstleistungen. Für den Aspekt Geschwindigkeit war eine Bedeutungszunahme in diesem Zeitraum für die Anwendungsgebiete industrielle Produktion und Forschung feststellbar. In den meisten Anwendungsgebieten werden die Aspekte Nachhaltigkeit und Komplexität im Zeitraum 2011 bis 2016 in keinem der Beiträge im online-Magazin thematisiert. Auch in den Diskursen zu jenen Anwendungsgebieten, in denen Nachhaltigkeit und Komplexität erwähnt werden, bleiben diese beiden AM-Charakteristika von geringer Bedeutung. Zudem verlor der Aspekt Nachhaltigkeit im AM Diskurs im Betrachtungszeitraum weiter an Bedeutung.

Hinsichtlich der Materialien für AM unterstützen die Interviews nicht immer die Ergebnisse der Analyse des online-Magazins. Während die Heat Map dem Einsatz von Keramik besonders in den Anwendungsgebieten industrielle Produktion und Forschung Bedeutung beimisst, sehen die ExpertInnen auch in den Gebieten Schmuck und Medizin große Potenziale für dieses AM Material, besonders für Klein- und Mittelbetriebe. – „Ich glaube, dass Keramik in der Biomedizin eine große Rolle spielen könnte. In Österreich könnten kleine und mittelgroße Unternehmen in diesem Bereich viel mehr machen!“ (Experte, Forschung A). Zudem könnte Keramik nach Meinung der ExpertInnen auch im Flugzeugbau in Zukunft mehr genutzt werden, da es neue Lösungen, beispielsweise im Motorenbau, ermöglicht. – „Der für die Luftfahrt entwickelte LEAP Motor, zum Beispiel, konnte nur mit Hilfe von mit Keramik gedruckten Teilen entwickelt werden, weil die so hoch temperaturbeständig und so genau fertigbar waren.“ (Experte, Anwender)

Im Einklang mit den Ergebnissen der Analyse des online-Magazins betonen die ExpertInnen auch, dass Holz verstärkt in der Bauindustrie eingesetzt wird. Derzeit sehen die ExpertInnen den Fokus des AM-Diskurses aber auf den falschen Märkten. Während die Hersteller auf den relativ beschränkten Markt der Hobbyisten fokussieren, würde die Bauindustrie mit ihrem großen Materialverbrauch einen weitaus größeren und profitableren Markt für das AM-Material Holz bieten. – „Außer in 3D-Druckern verwendete Holzfillamente wird Holz in AM kaum eingesetzt. Ich glaube der Fokus ist einfach am falschen Markt. Man sollte sich nicht auf den home user konzentrieren, sondern auf die Bauindustrie. Dort werden Tonnen an Material gebraucht.“ (Experte, Forschung A).

Bezüglich der Charakteristika von AM bestätigen die Aussagen der InterviewpartnerInnen und FokusgruppenteilnehmerInnen die Ergebnisse der Analyse des online-Magazins. Eine entscheidende Bedeutung kommt der Diskussion zu den Kosten von AM in der industriellen Produktion zu. Die Gesprächspartner schreiben diese bedeutende Rolle der Kostenfrage der zunehmenden Verwendung von AM im tatsächlichen Produktionsprozess zu – „Ich verstehe den Trend. Viele Industriebetriebe versuchen gerade herauszufinden, wie sie AM in ihren Produktionsprozessen nutzen können.“ (Experte, Forschung B). Während das Gewicht ein relativ wenig diskutiertes AM-Charakteristikum ist, sehen die Interviewpartner große Potenziale besonders im

Flugzeugbau. – „Im Flugzeugbau können die hohen Kosten von AM nur gerechtfertigt werden, wenn ich Gewicht sparen kann.“ (Experte, Forschung A). Die Bedeutung der durch AM möglichen Individualisierung der Produktion bestätigen die politischen Entscheidungsträger in den Interviews und betonen dabei die Potenziale für medizinische Anwendungen. – „Ich sehe einen der größten Vorteile additiver Fertigung in der individuellen gewerblichen Fertigung, zum Beispiel von Prothesen.“ (Politikerin B).

Tabelle 9 – Heat Map AM-Charakteristika/Anwendungsgebiete

	Kosten	Gewicht	Individualisierung	Geschwindigkeit	Nachhaltigkeit	Komplexität
Industrielle Produktion	5 (++)	3 (++)	3 (++)	3 (++)	1 (+/-)	3 (+/-)
Forschung	4 (++)	3 (++)	1 (+/-)	3 (++)	3 (--)	n.a.
Prototyping	4 (++)	3 (-)	3 (++)	3 (-)	2 (+/-)	1 (+/-)
Medizin	4 (++)	3 (++)	3 (+)	3 (+/-)	1 (+/-)	1 (+/-)
Dienstleistung	4 (++)	3 (++)	3 (++)	3 (+/-)	1 (+/-)	1 (+/-)
Schmuck	5 (++)	2 (++)	3 (+/-)	1 (+/-)	n.a.	n.a.
Kunst	3 (++)	2 (+)	2 (+/-)	3 (++)	1 (+/-)	n.a.
Handel	3 (+/-)	2 (+/-)	3 (+/-)	2 (+/-)	n.a.	n.a.
Bau	3 (++)	2 (++)	3 (+)	n.a.	1 (+/-)	n.a.
Flugzeugbau	3 (++)	3 (++)	1 (+/-)	1 (+/-)	n.a.	n.a.
Mode	3 (++)	2 (+/-)	2 (+/-)	1 (+/-)	n.a.	n.a.
Hobby	2 (++)	3 (+)	n.a.	2 (+/-)	n.a.	n.a.
Werkzeugbau	3 (++)	1 (+/-)	2 (+/-)	n.a.	n.a.	n.a.
Automotive	2 (+)	2 (+)	n.a.	n.a.	1 (+/-)	n.a.
Bildung	n.a.	n.a.	n.a.	1 (+/-)	n.a.	n.a.

Anmerkungen:

Die Tabelle zeigt die Häufigkeit der gemeinsamen Nennung von Kategorien der Dimensionen AM-Charakteristika und AM-Anwendungsgebieten zwischen 2011 und 2016. 1 entspricht der geringsten gewichteten Häufigkeit der gemeinsamen Nennung, während 5 die höchste gewichtete Häufigkeit der gemeinsamen Nennung anzeigt. n.a. impliziert, dass zu diesem Diskurs kein Artikel zwischen 2011 und 2016 publiziert wurde.

Die Vorzeichen in Klammern geben die Veränderung der Häufigkeit gemeinsamer Nennungen von Begriffen der Kategorien AM-Charakteristika und AM-Anwendungsgebiete zwischen P1 und P2 an: ++ starker Anstieg (>+50%), + leichter Anstieg (>+10% bis ≤+50%), +/- stagnierend (≥-10% bis ≤+10%), - leichte Abnahme (<-10% bis ≥-50%), -- starke Abnahme (>-50%).

6. Thesen zu den prioritären Handlungsfeldern

Der hier durchgeführte Technology Foresight hatte zum Ziel die Potenziale und Hemmnisse für die Entwicklung von AM nach Anwendungsgebieten, Materialien und Charakteristika für den Zeitraum bis 2025 zu identifizieren und daraus Thesen abzuleiten, die eine empirisch fundierte Basis für die Formulierung konkreter Handlungsempfehlungen für die österreichische Politik und Praxis bieten. Damit löst die Studie den Anspruch eines Technology Foresights ein, nämlich die Zukunft der Technologieentwicklung aktiv mitzugestalten.

These 1: Die Einführung von AM in Bildung und Forschung begünstigt die Hebung der Potenziale.

Um von existierenden Technologien bestmöglich profitieren zu können, muss eine realistische Einschätzung der damit verbundenen Chancen und Risiken erfolgen. Bei neueren Technologien und jungen Wachstumsmärkten stehen jedoch vielfach keine verlässlichen und eindeutigen Informationen zur Verfügung. So kommt es zu einer Polarisierung in der Einschätzung der Potentiale. Entweder es entstehen optimistische Hypes

und/oder zu einem voreiligen Verwerfen einer Technologie aufgrund ungeprüfter Annahmen. Potentielle Anwender sehen sich somit der Herausforderung konfrontiert eine Entscheidung über die Implementierung einer neuen Technologie unter hohen Unsicherheiten treffen zu müssen. Es besteht das Risiko einer Fehlinvestitionen oder eines zu späten Einsatzes der neuen Technologien.

Die Einführung von AM im primären, sekundären und tertiären Bildungsbereich sowie in der Weiterbildung ist daher notwendig, um einen realistischen Zugang zu sowie einen professionellen Umgang mit diesem Produktionsverfahren zu ermöglichen. Nur von gut ausgebildeten und mit AM vertrauten Führungskräften, MitarbeiterInnen, KundInnen und politischen EntscheidungsträgerInnen können die Potentiale von AM für Innovation, Investition und Wirtschaftsleistung gehoben werden. Als Folge der Schwächen im Bildungsbereich besteht derzeit ein Mangel an Grundlagen- und Anwendungsforschung zu AM. So bleiben vorhandene Potenziale von AM ungenützt. Insbesondere braucht es in der Forschung eine Zusammenarbeit der Bereiche Kreativwirtschaft, Design, Produktion, Materialwissenschaft und Softwareentwicklung.

These 1.1: Die Interdisziplinarität von AM zu verstehen begünstigt die Hebung der Potenziale.

Erfolgreiche AM-Anwendungen fordern stets die Beherrschung mehrerer Fähigkeiten in den Bereichen Kreativität, technisches Zeichnen, Materialwissenschaft und Mechatronik sowie ein tiefgreifendes Fachwissen in dem Bereich, in dem AM als Produktionsform eingesetzt wird (z.B. Medizin oder Werkzeugbau). Da die Vernachlässigung nur eines dieser Bereiche eine erfolgreiche Anwendung gefährden kann, sollten sich Anwender dieser Interdisziplinarität von AM bewusst sein und ihr bereits vor der Anwendung ausreichend Rechnung tragen.

These 1.2: Die Freiheiten des Schichtbauverfahren von AM zu verstehen begünstigt die Hebung der Potenziale.

Um die Vorteile von AM Verfahren nutzen zu können, müssen Entwickler die Möglichkeiten des Schichtbauverfahrens verstehen und zu beherrschen lernen. Während viele CAD/CAM Entwickler noch auf traditionelle Produktionsverfahren geschult sind, bietet AM die Möglichkeit abstrakte und innenliegende Strukturen (zB Leichtbauverfahren oder innenliegende Temperierkanäle) zu realisieren, die neuartige Produktfunktionen ermöglichen. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch nicht nur die Beherrschung des technischen Zeichnens, sondern auch das Verständnis der AM-Prinzipien und die Fähigkeit abseits von eingefahrenen Strukturen denken zu können. Daher sollte kreatives out-of-the-box-Denken in der Produktentwicklung unterstützt werden. Das Prinzip des Schichtbauverfahrens kann dabei auch auf kostengünstigen Maschinen (z.B. im Bildungsbereich) erlernt werden, bevor in ein teures AM-System investiert wird.

These 1.3: Kommunikation von best-practice Anwendungen begünstigt die Hebung der Potenziale.

Additive Fertigungsverfahren spielen in einigen Bereichen bereits eine wichtige Rolle und gewinnen dort zunehmend an Relevanz. Häufig genannte Wachstumsbereiche sind Dentalanwendungen, gefolgt von sonstigen medizinischen Implantaten und Prothesen. In der industriellen Produktion finden sich zahlreiche Berichte über Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt (vor allem zum erfolgreichen Einsatz von Leichtbauteilen), wohingegen der Bereich Automotive im Vergleich zu seiner tatsächlichen Marktrelevanz nur eine relativ geringe Medienberichterstattung erfährt. Gerade in der Automobilindustrie wird AM seit Jahrzehnten erfolgreich für

Prototypen und direkt manufacturing eingesetzt. Dieser erfolgreiche Einsatz von AM findet jedoch größtenteils unter Ausschluss der Öffentlichkeit statt. Die zurückhaltende Informationspolitik ist Sicht der Automobilhersteller nachvollziehbar, stellt AM doch eine Schlüsseltechnologie für die Weiterentwicklung des Produktportfolios da. Dennoch könnte eine offenere Kommunikation von erfolgreichen in der industriellen Produktion etablierten Anwendungen die Diffusion von AM fördern. Daher sollten staatliche Förderungen für Forschung und Entwicklung im Bereich AM nur unter der Bedingung bewilligt werden, dass die Förderempfänger über den Erfolg des Einsatzes von AM in ihrer Wertschöpfungskette berichten.

These 2: Die Nutzung vorhandener Knowledge Hubs begünstigt die Hebung der Potenziale.

Auch wenn das Bildungssystem das Thema AM noch unzureichend behandelt, haben potentielle Anwender die Möglichkeit existierende Knowledge Hubs wie Dienstleister, Open Space Einrichtungen (zB Fab Labs) und Forschungsinstitute pro-aktiv zu kontaktieren und so für einen Wissenstransfer zu sorgen. Besonders Dienstleister können eine wichtige Rolle spielen, indem sie neben einem Wissenstransfer auch einen guten ersten Einstieg in die Thematik – beispielsweise durch gemeinsame Testprojekte – ermöglichen, ohne bei den Erstanwendern hohe, unsichere Investitionen in Anlagen oder neue Mitarbeiter nötig zu machen. Dienstleister begleiten Unternehmen oft bei einem fließenden Übergang von einer anfänglichen externen Produktion zu einer späteren in-house Produktion, sobald für ausreichend Erfahrung und Auslastung gesorgt ist. Der Kontakt zu Forschungsinstitutionen ist immer dann interessant, wenn neue Produktionsmethoden, Verfahren oder Materialien entwickelt werden sollen, um neue Produktionsspezifika realisieren zu können.

These 3: Die Entwicklung neuer Produkte und neuer Geschäftsmodelle begünstigt die Hebung der Potenziale.

Wie bei jeder Entscheidung über die Implementierung eines neuen Produktionsverfahrens ist auch bei der Entscheidung über den Einsatz von AM der Kostenvergleich mit den bestehenden Produktionsverfahren entscheidend. Da AM ein radikal anderes Produktionsprinzip beinhaltet, werden Kostenvorteile von AM oft übersehen und AM erscheint als teurer und langsamer. Grund dafür ist, dass Produktionsbetriebe bereits auf traditionelle Massenfertigungsverfahren optimiert wurden und AM daher im Direktvergleich eine schlechte Alternative darstellt. Diese Einschätzung ist sicherlich für eine Vielzahl von Produkten auch durchaus zutreffend, da AM oftmals nicht geeignet ist einen ausgeklügelten Massenfertigungsprozess zu ersetzen. Häufig wird nur für einen bestimmten Abschnitt der Wertschöpfungskette ein bestehender Produktionsprozess mit einem alternativen AM Produktionsprozess verglichen, ohne die Effekte auf vor- und nachgelagerte Produktionsschritte und die durch AM eröffneten zusätzlichen Möglichkeiten bezüglich Flexibilität, Individualisierung und Materialersparnis zu berücksichtigen. Eine Entscheidung für oder gegen den Einsatz von AM sollte aber auf der Grundlage einer ganzheitlichen Analyse über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg getroffen werden.

Häufig wird ein solches grundsätzliches Überdenken erst im Rahmen der Umstellung des Produktportfolios oder des Geschäftsmodells erfolgen. Es ist aber zu erwarten, dass disruptive Entwicklungen wie die Digitalisierung und insbesondere der in Österreich und Deutschland als Industrie 4.0 diskutierte Teilbereich in vielen produzierenden Unternehmen ein solches Neudenken notwendig machen wird. In der Digital Economy werden die Vorteile von AM gegenüber traditionellen Produktionsverfahren deutlich werden. Besonders

attraktiv erscheint die synergetische Kombination traditioneller Produktionsverfahren mit AM. AM sollte als neues Produktionsverfahren daher nicht nur mit vorhandenen Lösungen verglichen, sondern auch auf seine Potenziale für gänzlich neue Antworten für bislang ungelöste Probleme und für die Lösung ganz neuer Probleme geprüft werden. Ein solches Beispiel ist die mit AM hergestellte Invisalign Zahnsperre, die aufgrund bisher produktionstechnisch nicht realisierbarer Produktspezifikationen aktuell große Marktanteile von den traditionell produzierenden Mitbewerbern gewinnt.

These 4: Die Betrachtung der Gesamtkosten, die für die Befriedigung eines Kundenbedürfnisses entstehen, begünstigt die Hebung der Potenziale.

Eine traditionelle Stückkostenbetrachtung ist aufgrund des in der additiven Fertigung verwendeten Schichtbauverfahrens oft nicht aussagekräftig. Dies gilt vor allem dann, wenn AM neue Produktfunktionen, die Kombination von mehreren Schritten des Produktionsprozesses oder eine Beschleunigung der Produktentwicklung ermöglicht. Auch wenn in dieser Studie die AM-Charakteristika Gewicht, Komplexität, Individualität, Geschwindigkeit und Nachhaltigkeit getrennt analysiert wurden, müssen Unternehmen diese Faktoren in einer ganzheitlichen Kosten-Nutzen-Analyse gemeinsam und in ihrem Zusammenwirken analysieren.

Daher ist bei der Prüfung eines Einsatzes von AM immer auf Umwegrentabilitäten zu achten. Ein prominentes Beispiel einer erfolgreichen Umwegrentabilität ist der Einsatz von AM zur Erstellung von Leichtbauteilen in Flugzeugen. Obwohl die Produktionskosten derartiger Leichtbauteile jene von traditionellen Teilen übersteigen, zeigt der Einsatz von AM langfristige Einsparungen durch geringere Kerosinkosten. Im Zentrum der Entscheidung über den Einsatz von AM sollte daher immer das zu befriedigende Kundenbedürfnis stehen und nicht der Vergleich der Kosten der traditionellen oder AM-basierten Herstellung eines bestimmten Teils. Im oben genannten Beispiel kann der Bedarf der Kunden nach einem möglichst günstigen Betrieb der Flugzeuge mit Leichtbauteilen mittels AM besser befriedigt werden, als mit traditionellen Produktionsverfahren, obwohl der Teil für sich traditionell günstiger hergestellt werden kann.

Auch der oft als Flaschenhals von AM bezeichnete Faktor Geschwindigkeit kann sich bei genauerer Betrachtung in einigen Fällen als falsch erweisen, wenn die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktentwicklung bis zur Entsorgung betrachtet wird. So können beispielsweise aufgrund einer verkürzten und verbesserten Entwurfsphase durch Rapid Prototyping oftmals nicht nur wertvolle Entwicklungszeiten eingespart und so time-to-market-Zeiten verkürzt werden, sondern auch die Qualität der entwickelten Produkte gesteigert und so Korrekturkosten und -zeiten verringert werden.

Obwohl Hersteller und Anwender von AM Systemen an der Optimierung der Druckgeschwindigkeiten (beispielsweise durch den Einsatz intelligenterer Algorithmen, mehrerer Druckköpfe, Laser oder Extruder oder durch das Verbinden von ganzen Flächen anstelle von einzelnen Punkten in einem Schritt) arbeiten, unterliegen viele Verfahren physikalischen Grenzen, die eine stetige Steigerung der Geschwindigkeit unwahrscheinlich machen. Eine von Experten prognostizierte Lösung könnte die Parallelverarbeitung, beispielsweise durch einen Verbund mehrerer AM-Systeme (mit intelligenten und automatischen Druckjobmanagement, Materialzuführung oder Produktentnahme), bieten. Während ein solcher Zugang zwar nicht die direkte Produktionszeit eines einzelnen Produkts verringert, kann die durchschnittliche Produktionszeit deutlich reduziert werden ohne auf die Möglichkeit von individuellen Anpassungen am Produkt verzichten zu müssen.

These 5: Die Fokussierung auf Produktfunktionen statt auf Komplexität begünstigt die Hebung der Potenziale.

Die proklamierte Möglichkeit mittels AM komplizierte Strukturen erstellen zu können, wird von den Experten teilweise als irreführend wahrgenommen. Komplexität ergibt sich zwar vielfach bei der Entwicklung bestimmter Produkte, ist aber in der Produktentwicklung weniger Ziel als unerwünschter Nebeneffekt angestrebter Produkteigenschaften. Hersteller sollten bei der Produktentwicklung im ersten Schritt daher zuerst auf Realisierung der gewünschten Produkteigenschaften aus Kundensicht und weniger auf die daraus resultierenden Komplexitäten im Produktionsprozess achten. Erst im Anschluss daran sollte ein geeignetes Verfahren zur Herstellung ausgewählt werden. Dies kann, muss aber nicht AM sein. Ziel sollte jedenfalls die Verringerung von Produktkomplexitäten aus der Perspektive des Kunden sein.

These 6: Das Erkennen zusätzlicher Kundennutzen durch automatisierte Individualisierung begünstigt die Hebung der Potenziale.

Ein oft genannter Vorteil von AM ist die Möglichkeit der Massenindividualisierung. Auch die im Zuge dieser Studie befragten Experten betonen dieses Potenzial von AM. Unter Massenindividualisierung versteht man die geringfügige Individualisierung von sonst standardisierten Produkten, um einen Mehrwert für den Kunden zu schaffen und die Zahlungsbereitschaft zu erhöhen. Der Begriff betont jedoch zu wenig die Möglichkeit der automatisierten Herstellung individualisierter Produkte abseits der Massenproduktion. Derzeit werden über geringfügige Anpassungen hinausgehend individualisierte Produkte meist noch in Handarbeit hergestellt. Gerade für Handwerks- und Gewerbebetriebe kann AM hier eine Möglichkeit bieten repetitive, aber auf einzelne KundInnen individualisierte Arbeiten (teil-)automatisiert durchzuführen. Derartige Betriebe sollten repetitiven Bearbeitungstätigkeiten analysieren, die aufgrund individueller Kundenwünsche ohne AM nicht automatisiert werden konnten. Dieser Zugang hat sich besonders in Bereichen mit kleinen Stückzahlen, aber hohen Margen (zB Werkzeugbau, (Dental-)Medizin, Kunst und Schmuckherstellung) als erfolgreich erwiesen.

These 7: Die Berücksichtigung der Vielfalt an Materialien für AM begünstigt die Hebung der Potenziale.

Wie bereits oben beschrieben basiert AM stark auf Interdisziplinarität, wobei die Materialwissenschaft eine Schlüsselrolle einnimmt. Wie in allen anderen Lebensbereichen auch, unterliegt auch die Produktion Trends. So war im AM-Diskurs hinsichtlich der eingesetzten Materialien eine klare Präferenz für Kunststoffe erkennbar. Solche Trends können bei der Wahl des AM-Materials für die eigene Anwendung den Blick auf besser geeignete Alternativen verstellen.

Kunststoffe bieten durch vielseitige Materialeigenschaften, eine vergleichsweise einfache Handhabung sowie geringe Kosten Vorteile, die in einer Vielzahl von Anwendungsgebieten genutzt werden können. Zusätzlich werden Kunststoffe abhängig vom herangezogenen AM Verfahren auch als unverzichtbarer Bestandteil in der Verarbeitung von anderen Materialien, beispielsweise in der lithografischen Verarbeitung von Keramik, als Verbundwerkstoff oder für Mischungen wie Holzfillamente benötigt. Gleichzeitig bringen Kunststoffe jedoch auch Herausforderungen im Bereich der Beständigkeit und Nachhaltigkeit mit sich.

Obwohl Metalle derzeit für AM noch eine geringere Rolle als Kunststoffe spielen, ist das Interesse zwischen 2011 und 2016 deutlich angestiegen. Der Anstieg und das Interesse kann einerseits durch den Markteinstieg von General Elektrik (GE) Aviation und dessen Kauf zweier relevanter Maschinenhersteller sowie

andererseits durch vermehrte Anwendungen von AM in der Medizin sowie der Luft- und Raumfahrt erklärt werden. Einige Experten sehen den Trend aber dennoch kritisch, da Metalle vergleichsweise teuer, schwer zu verarbeiten und in Zukunft teilweise durch Hochleistungskunststoffe und Keramiken ersetzt werden könnten.

Während die additive Verarbeitung von Lebensmitteln im Betrachtungszeitraum anfänglich eine hohe Medienberichterstattung genoss, hat sich die anfängliche Euphorie aufgrund der bis dato geringen Marktrelevanz solcher Anwendungen rasch reduziert. Dennoch sehen Experten ein künftiges Potential, beispielsweise in der Herstellung individualisierter Diätprodukte oder in der molekularen Zusammenstellung individueller Pharmamittel.

Trotz einer anfänglich geringen Medienberichterstattung sowie eines nur moderaten Anstiegs zwischen 2011 und 2016 sehen Experten aufgrund seiner besonderen Materialeigenschaften künftig vor allem für industrielle Anwendungen ein Potential in Keramik als AM-Material. Obwohl Holz in AM derzeit nur eine untergeordnete Rolle spielt und vor allem als Holzfillament verwendet wird, sehen Experten ein Potential dieses Werkstoffes vor allem in der Bauindustrie.

Analog zu den Produkteigenschaften sollten Anwender daher mögliche Materialien trendunabhängig auf die Eignung zur Erfüllung der angestrebten Produkteigenschaften prüfen. Der Wechsel von Produktionsverfahren kann teilweise auch mit dem Wechsel eines traditionell verwendeten Materials einhergehen. So könnten aufgrund neuer Entwicklungen in der Kunststofftechnologie derzeit mittels traditioneller Produktionsverfahren aus Metall gefertigte Produkte künftig mittels AM aus Kunststoff produziert werden.

These 8: Die Berücksichtigung des Beitrags von AM zur Nachhaltigkeit begünstigt die Hebung der Potenziale.

Additive Fertigungsverfahren bieten Verfahrensabhängig eine Vielzahl von theoretisch erzielbaren Effekten hinsichtlich Nachhaltigkeit. Genannt werden oftmals Aspekte wie geringerer Energieverbrauch oder die Reduzierung von Materialabfällen (Short et al., 2015). Während diese beiden Aspekte von Experten aufgrund des hohen Energieaufwandes bei der AM Materialproduktion sowie des Bestehens von Alternativtechnologien mit ebenfalls geringen Materialabfall kritisch beurteilt werden, ist man sich über potentielle positive Effekte einig, die dadurch entstehen, dass mit AM erst wenn Bedarf nach dem Produkt besteht und dort, wo das Produkt gebraucht wird, produziert werden kann. Konkret könnten durch eine vor-Ort-Produktion nicht nur Transportwege, sondern auch der damit einhergehende CO₂ Ausstoß reduziert und durch nachfragegesteuerte Produktion (z.B. selten nachgefragte Ersatzteile) Lagerkosten und Überproduktion verringert werden. Die Vorteile werden von Experten aktuell deshalb als theoretisch bezeichnet, da der Gesamtanteil additiv hergestellter Produkte derart gering ist, dass der absolute Effekt im Vergleich zu Maßnahmen bei anderen Produktionsprozessen vernachlässigbar ist. Mit zunehmender Anwendung additiver Technologien oder einer verschärften Umweltgesetzgebung könnten diese Effekte aber zukünftig rasch an Relevanz gewinnen.

These 9: Die langfristige Zuweisung von Forschungsmitteln begünstigt die Hebung der Potenziale.

Aufgrund der genannten Interdisziplinarität additiver Verfahren ist die Entwicklung neuer Anwendungen vielfach auf zeit- und kostenintensive (Grundlagen-)Forschung angewiesen. Öffentliche und private Forschungsförderstellen sollten daher versuchen redundante Forschungsanstrengungen zu vermeiden und dafür

die Ressourcen langfristig in vielversprechende Ansätze investieren. Open-Source-Strategien können die Diffusion von Forschungsergebnissen beschleunigen. Der Entwicklung von open-innovation-Zentren an Universitäten kann den Praxistransfer von Forschungsergebnissen intensivieren.

These 10: Die unreflektierte Anwendung von AM führt zu Enttäuschten Erwartungen und hemmt die Hebung der Potenziale.

Auch wenn additive Produktionsverfahren in manchen Bereichen unterschätzt werden, wird sich für einen Großteil der Produkte weiterhin ein traditionelles Herstellungsverfahren besser eignen. Nach ausgiebiger kritischer Überprüfung sollten potentielle Anwender daher analog zu den oben genannten Materialtrends auch die Nichteignung von AM für den eigenen Betrieb akzeptieren und nicht einen scheinbar innovativeren Produktionsprozess erzwingen. Um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, sollten Unternehmen verfahrensunabhängig die Eignung alternativer Herstellungsverfahren regelmäßig neu evaluieren. So kann verhindert werden, dass neue Entwicklungen, wie beispielsweise die Digitalisierung, zu spät erkannt werden.

7. Fazit: Maßnahmenoptionen in den prioritären Handlungsfeldern

Die Leistungsfähigkeit des österreichischen Ökosystems für Innovation und Technologieentwicklung lässt sich an vier Kategorien erfassen: (1) ökonomische Leistungsfähigkeit, (2) Performance im gesellschaftlichen Bereich, (3) ökologische Leistungsfähigkeit und (4) Innovationsperformance bzw. -effizienz. Je besser ein neues technologisches Prinzip – beispielsweise AM – diese vier Aspekte gleichzeitig abdecken kann, umso größer ist der potenzielle Beitrag für die FTI-Strategie der österreichischen Bundesregierung.

7.1. Prioritäre Handlungsfelder

Vor dem Hintergrund dieses systemischen Verständnisses ordnen wir die in dieser Studie als relevant identifizierten AM-Charakteristika den Kategorien des österreichischen Ökosystems für Innovation und Technologieentwicklung zu (siehe erste und zweite Spalte in Abbildung 1). Die Kategorie ökonomische Leistungsfähigkeit ist mit den AM-Charakteristika „Kosten“ und „Geschwindigkeit“ assoziiert. Die Performance im gesellschaftlichen Bereich wird durch die „Individualisierung“ der Produktion durch AM abgedeckt. Durch eine automatisierte Herstellung von Produkten, die genau auf individuelle Bedürfnisse des Menschen zugeschnitten wurden, kann der Konsumentennutzen und so in Summe der Nutzen für die Gesellschaft erhöht werden. Gleichzeitig können durch die automatisierte individualisierte Produktion Lösungen für Bedürfnisse zu marktfähigen Preisen angeboten werden, wodurch zusätzlich gesellschaftlicher Nutzen geschaffen wird. Die Kategorie ökologische Leistungsfähigkeit findet ihre Entsprechung im AM-Charakteristikum „Nachhaltigkeit“. Hier stehen die Reduktion von Transportwegen durch die Möglichkeit einer vor-Ort-Produktion sowie die Reduktion von Lagerbedarf durch eine on-demand Produktion von selten nachgefragten Produkten (Ersatzteile) im Fokus. Der Kategorie Innovationsperformance- bzw. -effizienz sind die AM-Charakteristika „Gewicht“ und „Komplexität“ zugeordnet. Beide Charakteristika stellen wichtige Aspekte dar, wenn bestehende Produkte und Geschäftsmodelle gänzlich neu gedacht werden und neue Kundenbedürfnisse adressiert werden sollen. Die durch AM eröffneten Spielräume bieten Raum für einerseits gesteigerte Innovationstätigkeit und andererseits für effizientere Innovationsprozesse.

Den identifizierten AM-Charakteristika wird dabei jedoch unterschiedlich große Bedeutung im AM-Diskurs zugeschrieben (Einordnung auf der Skala in der dritten Spalte in Abbildung 1) und diese Bedeutung hat sich im

Betrachtungszeitraum unterschiedlich entwickelt (Länge des Schweifs in der dritten Spalte in Abbildung 1). Zudem unterscheidet sich die Bedeutung der AM-Charakteristika für unterschiedliche Anwendungsgebiete (siehe ab der vierten Spalte in Abbildung 1). Je stärker das AM-Charakteristikum in einem Anwendungsgebiet diskutiert wurde, desto dunkler ist die entsprechende Zelle eingefärbt. In diesen Anwendungsgebieten hat AM das größte Potenzial zur Stärkung des österreichischen Innovations- und Technologiestandortes beizutragen. Unsere Maßnahmenoptionen adressieren daher genau diese Maßnahmenfelder.

Abbildung 1 – Prioritäre Handlungsfelder zur Hebung des Potenzials von AM für FTI

Ziele der FTI Strategie	AM Charakteristika	Prioritäre Handlungsfelder (5=höchste Priorität - 1=geringste Priorität)																
Ökonomische Leistungsfähigkeit	Kosten																	
	Geschwindigkeit																	
Performance im gesellschaftlichen Bereich	Individualisierung																	
Ökologische Leistungsfähigkeit	Nachhaltigkeit																	
Innovations-performance bzw. -effizienz	Gewicht																	
	Komplexität																	
		Bedeutung im AM-Diskurs																
		<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> - + </div>																
		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Industrielle Produktion Forschung Prototyping Medizin Dienstleistung Schmuck Kunst Handel Bau Flugzeugbau Mode Hobby Werkzeugbau Automotive Bildung </div>																

7.2. Maßnahmenoptionen

- Ganzheitliches Denken im Management und Prinzipien von Digitalisierung im Allgemeinen und AM im Besonderen müssen in der Aus- und Weiterbildung in den Vordergrund gestellt werden.** Denn für fast alle Anwendungsbereiche von AM gilt, dass bei der Beurteilung der ökonomischen Sinnhaftigkeit des Einsatzes von AM im eigenen Betrieb auf Basis fundierter Kenntnisse der AM-Prinzipien in mehrfacher Hinsicht ganzheitlich gedacht werden muss. Es dürfen nicht nur die Kosten von AM mit jenen des substituierten Produktionsverfahrens isoliert für den direkt betroffenen Abschnitt der Wertschöpfungskette betrachtet werden. Vielmehr braucht es einen Vergleich der Kosten für die Befriedigung eines bestimmten Kundenbedürfnisses bzw. der Bereitstellung eines bestimmten Marktangebotes. Dabei sind die Auswirkungen einer Umstellung auf AM auf die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen und das gesamte Geschäftsmodell bzw. das durch AM mögliche alternative Geschäftsmodell zu beachten. Es gilt bei der Beurteilung alle technisch möglichen AM-Materialien (besonders Metall, Kunststoff und Keramik) und alle Organisationsformen der Produktion sowie die Einbeziehung von Dienstleistern zu prüfen.
- Handwerk und industrielle Produktion müssen in Bildung, unternehmerischer Praxis und den Institutionen (Interessensvertretungen, Förderschienen) zusammengeführt werden, um das durch AM gebotene Potenzial automatisierter Individualisierung heben zu können.** Das Prinzip von AM

erlaubt für fast alle Anwendungsbereiche eine (Teil-)Automatisierung von individualisierter Produktion. War dieser Grad der Individualisierung bisher dem Handwerk vorbehalten und die Massenfertigung automatisiert, ermöglicht AM nun ab der ersten Losgröße einen automatisierten Produktionsprozess. AM ermöglicht Automatisierung und damit die Nutzung von Skaleneffekten im Handwerk genauso wie Individualisierung und damit die Maximierung des Kundennutzens durch perfekte Anpassung des Einzelstücks an die Bedürfnisse jedes einzelnen Kunden in der industriellen Massenfertigung. Diese Konvergenz der Produktionsprinzipien wird sich in strukturellen Veränderungen der Unternehmenslandschaft abbilden. Um den von AM induzierten Strukturwandel für den österreichischen Wirtschaftsstandort optimal nutzen zu können, müssen sich die Akteure in den Bereichen Handwerk und industrielle Produktion als Partner begreifen und kooperativ die Zukunft gestalten.

- **Durch fiskalpolitische Maßnahmen muss für Kostenwahrheit in der Logistik gesorgt werden, um die Vorteile von AM durch vor-Ort-Produktion und Gewichtsreduktion in Zukunft deutlicher erkennbar zu machen. Statt nur CO₂-Ausstoß zu berücksichtigen, soll auch das Gewicht von Fahrzeugen für die Bemessung der Abgaben berücksichtigt werden.** AM ermöglicht eine Produktion vor Ort. Dies reduziert das Transportaufkommen und damit die Verkehrsbelastung sowie den CO₂-Ausstoß. Gleichzeitig ermöglicht AM die on-demand-Produktion, was zu einer Erhöhung der Flexibilität und einer Reduktion der Lagerbestände und damit des gebundenen Kapitals und des Raumbedarfs führt. Um die Vorteile von AM sichtbar zu machen, braucht es Kostenwahrheit bei Transport und Lagerung und eine Einpreisung der negativen externen Effekte herkömmlicher Logistik wie Verkehrsstaus, Folgen des CO₂-Ausstoßes, Versiegelung von Grünflächen. Zudem ermöglicht AM eine deutliche Reduktion des derzeit sehr hohen Eigengewichts von Transportmitteln. Die Gewichtsreduktion durch AM reduziert bereits kurzfristig den Verbrauch fossiler Treibstoffe und erhöht mittelfristig die Reichweite und damit die Attraktivität alternativer Antriebe wie Strom.
- **Für Innovationsimpulse durch AM müssen Bildung und Weiterbildung in Österreich den Rahmen des Denkens entsprechend der neuen technischen Möglichkeiten erweitern.** Vom Kindergarten bis zur Executive Education hat die Vermittlung des technisch aktuell und zukünftig Möglichen höchste Priorität für die Förderung der Innovation. Besonders die Möglichkeit mit AM komplexe Strukturen herzustellen und das Gewicht der Produkte deutlich zu reduzieren macht bisher unerfüllbare Kundenbedürfnisse erfüllbar. AM erweitert den Rahmen des Machbaren. Nun müssen Bildung und Weiterbildung den Rahmen des Denkens über sämtliche von AM betroffene Disziplinen und Ausbildungsprogramme hinweg entsprechend erweitern.

8. Next Steps: Studie zur Quantifizierung

Nachdem in dieser explorativen Studie zahlreiche für die zukünftige Entwicklung von AM in Österreich relevante Faktoren identifiziert wurden und Thesen zum Zusammenspiel dieser Faktoren formuliert wurden, gilt es nun im Folgeprojekt mit einem konfirmatorischen Forschungszugang eine Quantifizierung vorzunehmen. Die quantitative Studie wird auf der Basis eines Technology Acceptance Models die Wirkung des österreichischen Innovationsökosystems auf die Entwicklung von AM erfassen. Damit lassen sich konkrete Aussagen und Handlungsempfehlungen ableiten.

Dazu wird nach einem Pretest des Erhebungsinstruments eine quantitative Online-Befragung via unipark zu

den Potenzialen und Gefahren von AM für den Zeithorizont bis 2025 durchgeführt, die sich an folgende Adressatengruppen richtet: (1) VertreterInnen von Anwender-Unternehmen unterschiedlicher Größe und in unterschiedlichen Unternehmensentwicklungsphasen (Kontaktdaten aus der Aurelia Datenbank des Bureau van Dijk und Informationen der Redaktion von 3Druck.com), (2) VertreterInnen von Hersteller-Unternehmen und Händler-Unternehmen unterschiedlicher Größe und in unterschiedlichen Unternehmensentwicklungsphasen (Kontaktdaten aus der Aurelia Datenbank des Bureau van Dijk und Informationen der Redaktion von 3Druck.com), (3) ExpertenInnen aus der universitären und außeruniversitären Forschung, (4) Fachleute aus den Behörden und Institutionen, die mit dem Thema befasst sind und (5) nicht mit dem Thema befasste Person. Als Ergebnis der Befragung liegt ein aufbereiteter und auf Konsistenz geprüfter Datensatz vor. Die Ergebnisse der statistischen Analyse der quantitativen Daten werden dann vor dem Hintergrund der qualitativen Ergebnisse interpretiert. Neben der Bewertung der Hypothesen werden für Forschung, unternehmerische Praxis und Politik konkrete Handlungsvorschläge abgeleitet, wie die Hindernisse im österreichischen Innovationsökosystem reduziert und die Potenziale von AM im Zeithorizont bis 2025 optimal gehoben werden können.

Die Liste vorläufiger Thesen und Handlungsempfehlungen wird in einer Fokusgruppe kritisch diskutiert und validiert. Als Ergebnis liegt eine Liste der validierten Thesen und Handlungsempfehlungen vor. Diese Thesen können dann als Grundlage für ein Follow-up Policy Brief (Empfehlung an die Politik) dienen.

Literaturverzeichnis

- 3D Systems Corporation (2014a) The Journey of a Lifetime [WWW document] URL <http://www.3dsystems.com/30-years-innovation> [accessed on 8 March 2013]
- 3D Systems Corporation (2014b) The Sugar Lab [WWW document] URL <http://the-sugar-lab.com> [accessed on 5 February 2014]
- Amanatidou, E., Guy, K. (2008) Interpreting foresight process impacts: Steps towards the development of a framework conceptualizing the dynamics of “foresight systems”. *Technological Forecasting & Social Change* 75, 539-557.
- Andersen, P.D., Jørgensen, B.H., Lading, L., Rasmussen, B. (2004) Sensor foresight – technology and market. *Technovation* 24, 311-320.
- ASTM International, 2012. F2792–12e1 Standard terminology for additive manufacturing technologies. [Online], available from: www.astm.org/Standards/F2792.html
- Balla, V. K., Keck, W.M., Roberson, L.B., O'Connor, G.W., Trigwell, S., Bose, S. and Bandyopadhyay, A. (2012). First Demonstration on Direct Laser Fabrication of Lunar Regolith Parts. *Rapid Prototyping Journal*, 18, 451–457.
- Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., Hague, R. (2016) The cost of AM: machine productivity economics of scale and technology-push. *Technological Forecasting & Social Change* 102, 193-201.
- Bertsch A., Bernhard, P., Vogt C. and Renaud, P. (2000) Rapid Prototyping of Small Size Objects. *Rapid Prototyping Journal*, 6, 259-266.
- Bogers, M., Hadar, R., Bilberg, A. (2016) AM for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting & Social Change* 102, 225-239.
- Breuninger, J., Becker, R., Wolf, A. and Rommel, S. (2013) *Generative Fertigung mit Kunststoffen – Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern*, Springer Verlag, Berlin, DE.
- Chocedge Ltd. (2012) Chocolate Printing [WWW document]. URL <https://chocedge.com/3dprinting.php> [accessed on 4 February 2014]
- Coates, J. (1985) Foresight in federal government. *Futures Forschung Quarterly* 2, 29-53.
- Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof A. N., Rodonsky, L. M., Rodonsky, C. M., Jordan, D. C., Limperos J. W. (2014) Making sense of 3-D printing: Creating a map of AM products and services. *Additive Manufacturing* 1-4, 64-76.
- Cuhls, K. (2003) From forecasting to foresight – New participative foresight activities in Germany. *Journal of Forecasting* 22, 93-111.
- Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S.J., Garmulewicz, A., Knowles, S., Minshall, T.H.W., Mortara, L., Reed-Tsochas, F.P., Rowley, J. (2017) Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A Forschung agenda. *Technological Forecasting & Social Change* 115, 75-84.
- Dylander, B. (1980) Technology assessment – as science and as a tool for policy. *Acta Sociologica* 23, 217-237.
- Eyers D. and Dotchev K. (2010) Technology Review for Mass Customisation Using Rapid Manufacturing. *Assembly Automation*, 30, 39–46.
- Gartner, J., Maresch, D., Fink, M. (2015). The Potential of AM – An Integrative Technology Assessment. *Creativity and Innovation Management* 24, 585-600.
- Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., Hou, L. (2013) AM and its societal impact. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67, 1191-1203.
- Jiang, R., Kleer, R., Piller, F.T. (2017) Predicting the future of AM: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting & Social Change* 117, 84-97.
- Khoshnevis, B. (1998) Innovative rapid prototyping process makes large sized, smooth surfaced complex shapes in a wide variety of materials. *Materials Technology*, 13, 52-63.
- Kieser, A., Leiner, L. (2009) Why the Rigour–Relevance Gap in Management Forschung Is Unbridgeable, *Journal of Management Studies* 46, 516-533.
- Kieser, A., Nicolai, A., Seidl, D. (2015) The Practical Relevance of Management Forschung: Turning the Debate on Relevance into a Rigorous Scientific Forschung Program. *Academy of Management Annals* 9, 143-233.
- Kruth, J.P., Wang, X., Laoui, T. and Froyen, L. (2003) Lasers and materials in selective laser sintering. *Assembly Automation*, 23, 357-372.

- Martin, B.R. (1995) Foresight in Science and Technology. *Technology Analysis & Strategic Management* 7, 139-168.
- Martin, B.R. (2010) The Origins of the Concept of “Foresight” in Science and Technology: An Insider’s Perspective. *Technological Forecasting & Social Change* 77, 1438-1447.
- Martino, J.P. (1983) *Technological Forecasting for Decision Making*, 2nd edn. North-Holland, Amsterdam.
- Mcor Technologies (2013) White Paper: How Paper-Based 3D Printing works [WWW document]. URL http://www.mcor technologies.com/wp-content/uploads/2013/04/MCOR-WP-19032013-EU_low.pdf [accessed on 4 March 2003]
- Mellor, S., Hao, L., Zhang, D. (2014) AM: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics* 149, 194-201.
- Miles, I. (2010) The Development of Technology Foresight: A Review. *Technological Forecasting & Social Change* 77, 1448-1456.
- Modern Meadow Inc. (2012). About [WWW document]. URL <http://modernmeadow.com/about/solution/> [accessed on 7 January 2014]
- Okhuysen, G., Bonardi, J.P.P. (2011) Editors’ comments: The challenges of theory building through the combination of lenses. *Academy of Management Review* 36, 6-12.
- Petrack, I.J., Echols, A.E. (2004) Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions. *Technological Forecasting and Social Change* 71, 81-100.
- Petrovic, V., Gonzalez, J.V.H., Ferrando O.J., Gordillo J.D., Puchadés J.R.B., Griñan L.P. (2011) Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies, *International Journal of Production Forschung* 49, 1061-1079.
- Piekkari, R., Welch, C., Paavilainen, E. (2009) The Case Study as Disciplinary Convention: Evidence From International Business Journals. *Organizational Forschung Methods* 12, 567-589.
- Ratinho, T., Harms, R., Walsh, S. T. (2015). Structuring the technology entrepreneurship publication landscape: Making sense out of chaos. *Technological Forecasting and Social Change* 100, 168-175.
- Rayna, T., Striukova, L. (2016) From rapid prototyping home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting & Social Change* 102, 214-224.
- Ridder, H.-G., Hoon, C., McCandless Baluch, A. (2014) Entering a Dialogue: Positioning Case Study Findings towards Theory. *British Journal of Management* 25, 373-387.
- Salmi, M., Tuomi, J., Paloheimo, K.S., Björkstrand, R., Paloheimo, M., Salo, J., Kontio, R., Mesimäki, K. and Mäkitie, A. A. (2012) Patient-specific reconstruction with 3D modeling and DMLS additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 18, 209–214.
- Schuelke-Leech, B.A., Barry, B. (2017) Philosophical and Methodological Foundations of Text Data Analytics, in M. Dehmer & F. Emmert-Streib, *Frontiers of Data Science*, Boca Raton, FL: CRC.
- Shah, S.K., Corley, K.G. (2006) Building Better Theory by Bridging the Quantitative – Qualitative Divide. *Journal of Management Studies* 43, 1821-1835.
- Short, S.B., Sirinterlikci A., Badger P., Artieri B. (2015) Environmental, health, and safety issues in rapid prototyping. *Rapid Prototyping Journal* 21, 5-110.
- Van Dijk, J.W.A. (1991) Foresight Studies: A New Approach in Anticipatory Policy Making in the Netherlands. *Technological Forecasting & Social Change* 40, 223-234.
- Walsh, S.T. (2004) Roadmapping a Disruptive Technology: A Case Study – The Emerging Microsystems and Top-Down Nanosystems Industry. *Technological Forecasting & Social Change* 71, 161-185.
- Weller, C., Kleer, R., Piller, F.T. (2015) Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of AM revisited. *International Journal of Production Economics* 164, 43-56.
- Yin, R.K., 2009. *Case study Forschung: design and methods*, Thousand Oak: Sage.

ANHANG 1: Akteursliste

Dienstleister:

Name: ALMOSTEC GmbH
Info: 3D-Druck Service, 3D Selfies – Minifiguren, CAD Service
Adresse: Alfred Feierfeilstraße 3, 2380 Perchtoldsdorf, AUSTRIA
Web: <http://www.almostec.com>
E-Mail: office@almostec.com
Telefonnummer: +43 664 2560 253, +43 664 2560 253

Name: Alphacam
Info: 3D-Drucker, 3D-Druck Service
Adresse: Handelskai 92, Gate1 / 2. OG / Top A, 1200 Wien
Web: <https://www.alphacam.at>
E-Mail: info@alphacam.at
Telefonnummer: +43 (0)1 3619 6000

Name: Bernstein Innovation GmbH
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: Froschberg 3, 4020 Linz
Web: <http://bernstein-innovation.com>
E-Mail: b3d@bernstein-innovation.com
Telefonnummer: +43 732 601426-0

Name: BMG GmbH
Info: 3D-Druckerei (Werkzeug + Bauteile)
Adresse: Werberg 5, 5132 Geretsberg
Web: www.bringsinform.com
E-Mail: fice@bringsinform.com
Telefonnummer: 07748 32900

Name: CHPG 3D-Druck GmbH
Info: 3D-Druckerei (Architekturmodelle)
Adresse: Nordwestbahnstraße 13/1, 1020 Wien
Web: <http://www.chpg-3d-druck.com>
E-Mail: office@chpg-3d-druck.com
Telefonnummer: +43 1 9251653

Name: Fotec
Info: 3D-Druck Service CAD Service
Adresse: Viktor Kaplan-Straße 2, Wiener Neustadt
Web: <http://www.fotec.at>
E-Mail: /
Telefonnummer: 02622 903330

Name: Happylab
Info: 3D-Druck Service
Adresse: Jakob-Haringer-Straße 8 Salzburg, Haussteinstraße 4/2A-1020 Wien
Web: <http://www.happylab.at/>
E-Mail: salzburg@happylab.at, wien@happylab.at
Telefonnummer: W: +43 1 30846660, S: +43 662 2496660

Name: HaraTech
Info: 3D-Druck Service, 3D-Scan Service
Adresse: Peter-Behrens-Platz 6, Magazin EG, 4020 Linz
Web: <http://haratech.at>
E-Mail: office@haratech.at
Telefonnummer: +43 732 287070

Name: IB-Pirker
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: Radlach 27, 9754 Steinfeld
Web: <http://ib-pirker.at>
E-Mail: office@ib-pirker.at
Telefonnummer: +43 (0) 650 4066668

Name: INDIKO
Info: 3D-Druck Service, FDM, STL/SLA, SLS
Adresse: St.Marienkirchen bei Schärching Niederhamerstraße 171
Web: <http://www.indiko.at>
E-Mail: office@indiko.at
Telefonnummer: +436805001930, +436805001930

Name: LayerLab.net
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: Südtirolerplatz 13, 8020 Graz
Web: <https://www.layerlab.net/>
E-Mail: support@layerlab.net, sales@layerlab.net
Telefonnummer: +43 316 890 449

Name: Materialise
Info: 3D-Druckservice, 3D-Drucker, Zubehör
Adresse: Gutheil-Schoder-Gasse 17, AT-1230 Wien
Web: www.materialise.com
E-Mail: prototype@materialise.com
Telefonnummer: +43 1 6620453

Name: M&H CNC Technik GmbH 3D Druck Metall
Info: 3D-Druck Service, CAD Service, Scan Service
Adresse: Neudorf 171, 8262 Ilz, Austria
Web: <http://www.mhcnc.com/>
E-Mail: manfred.ninaus@mhcnc.com
Telefonnummer: 0043 650 4000 899, 0043 650 4000 899

Name: Modellart
Info: 3D-Druckerei (Architekturmodelle)
Adresse: Zeltgasse 12/1080 Wien
Web: <http://www.architektur-modellbau.at>
E-Mail: office@modellart.at
Telefonnummer: +43 1 2529619, Mobil: +43 699 11346751

Name: Ölz Wolfgang 3D Möbel-Planungen + 3D-Druck
Info: Möbelplanungen via AutoCAD, 3D-Modelldrucke
Adresse: Moosmahdstraße 22, 6850 Dornbirn
Web: office-oelz3dplan@aon.at
E-Mail: office-oelz3dplan@aon.at
Telefonnummer: +43 664 4032713

Name: Plankopie / 3D Druck Wien
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: 1060 Wien
Web: <http://3d-druck-wien.at/>

Name: Prirevo
Info: 3D-Druck Service, CAD Service, Scan Service
Adresse: Eferdinger Str. 62, 4600 Wels
Web: <http://www.prirevo.com/>
E-Mail: office@prirevo.com
Telefonnummer: 07242 277004

Name: PROTOTECH GmbH
Info: 3D-Druck Service
Adresse: Millennium Park 11, Lustenau, Österreich
Web: <http://www.smartprototyping.eu>
E-Mail: office@smartprototyping.eu
Telefonnummer: +43 5577 20715

Name: Reprap Austria
Info: 3D-Druck Service, 3D Selfies – Minifiguren, CAD Service
Adresse: Schönaue 6, 4550 Kremsmünster
Web: <http://www.reprap.cc>
E-Mail: admin@reprap.cc
Telefonnummer: 004368120905779, 004368120905779

Name: robotmech
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: Bundesstraße 11, 6842 Koblach
Web: <https://www.robotmech.com/>
E-Mail: info@robotmech.com
Telefonnummer: +43 (0) 5523 / 510 31-0

Name: Schiner 3D Repro GmbH
Info: 3D-Druck Service
Adresse: Krems an der Donau
Web: <http://schiner3drepro.at>

Name: twinstar 3D moments
Info: 3D Selfies - Minifiguren
Adresse: Linz (Pasching)
Web: <http://www.twinstar.eu>
E-Mail: office@twinstar.eu
Telefonnummer: +43 650 3555222

Name: VirtuMake GmbH
Info: 3D-Druck Service, Scan Service, CAD Service, 3D Selfies - Minifiguren
Adresse: Lerchenfelder Straße 129, Wien
Web: <http://virtumake.com>
E-Mail: office@virtumake.com
Telefonnummer: +43 699 11 40 74 02, +4369911407402

Name: Vision 3D
Info: 3D-Druck Service, CAD Service, Scan Service
Adresse: 8042 Graz
Web: <http://www.vision3d.at/>
E-Mail: office@vision3d.at
Telefonnummer: +43316472538-10, +43316472538-17

Name: Waffenschmiede
Info: 3D-Druck Service
Adresse: Neue Welt Höhe 37, A-8042 Graz
Web: <http://www.waffenschmiede.at>
E-Mail: info@waffenschmiede.at

Name: Westcam Datentechnik GmbH
Info: 3D-Druck Service, CAD Service, 3D-Messtechnik
Adresse: 6068 Mils bei Hall
Web: <http://www.westcam-datentechnik.at>
E-Mail: office@westcam.at
Telefonnummer: +43 5223 55509 – 0, +43 5223 55509 100

Name: z-prototyping
Info: 3D-Druck Service
Adresse: Hoehster Straße 8, 6850 Dornbirn
Web: <http://z-prototyping.com>
E-Mail: office@z-prototyping.com
Telefonnummer: +43 5572 7272-720

Name: 1zu1 Prototypen
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: Färbergasse 15, 6850 Dornbirn
Web: <https://www.1zu1prototypen.com/>
E-Mail: info@1zu1.eu
Telefonnummer: 05572 529460

Name: 3D ConceptArt
Info: 3D Selfies – Minifiguren, 3D-Druck Service
Adresse: Linz
Web: <https://3dconceptart.at>
E-Mail: office@3dconceptart.at
Telefonnummer: /

Name: 3D-Druck Hechenberger
Info: 3D-Druck Service
Adresse: 6372 Oberndorf, Alfons-Walde-Weg 47, Tirol
Web: <http://www.dreide.at>
E-Mail: hechenberger@dreide.at
Telefonnummer: +43 660 6546363

Name: 3D Elements GmbH
Info: 3D-Fotostudio
Adresse: Sparkassenplatz 5/5.Stock, 6020 Innsbruck
Web: <http://3delements.com>
E-Mail: service@3delements.com
Telefonnummer: +43 800 204045

Name: 3D-Fabrik - 3D Drucker Handels GmbH
Info: 3D Druckservice, 3D-Scanning, 3D-Drucker + Zubehör Händler
Adresse: Stiegstraße 3, 6830 Rankweil
Web: <http://www.3d-fabrik.at>
E-Mail: office@3d-fabrik.at
Telefonnummer: +43 660 4565527

Name: 3DFiguren
Info: CAD-Service
Adresse: Graz 8010
Web: <http://3dfiguren.at>

Name: 3DMarkt
Info: 3D-Druck Service, 3D-Drucker, Zubehör
Adresse: Science & Technology Park Lakeside B01a, Lakeside, 9020 Klagenfurt am Wörthersee
Web: <http://3dmarkt.at/>
E-Mail: info@3dmarkt.at
Telefonnummer: 00436601686404

Name: 3D medical print KG
Info: 3D-Druck Service (Zahnmedizin)
Adresse: Kraimsthalstr. 1, 4860 Lenzing
Web: <http://www.3dmedicalprint.com>
E-Mail: office@3dmedicalprint.com
Telefonnummer: 07236 20846

Name: 3D Solutions
Info: 3D-Druck Service, CAD Service
Adresse: Gschaid 120a, A-8190 Birkfeld
Web: <http://www.3d-solutions.at>
E-Mail: office@3d-solutions.at
Telefonnummer: +43(0)660 2700528

Name: 3D Supermarkt
Info: 3D-Druck Service, Scan Service, CAD Service
Adresse: Stegersbach
Web: <http://3d-supermarkt.at>
E-Mail: office@3d-supermarkt.at

Händler:

Name: Alphacam
Info: 3D-Drucker, 3D-Druck Service
Adresse: Handelskai 92, Gate1 / 2. OG / Top A, 1200 Wien
Web: <https://www.alphacam.at>
E-Mail: info@alphacam.at
Telefonnummer: +43 (0)1 3619 6000

Name: A member of the Koller Group
Info: 3D-Zubehör, Materialien
Adresse: Brünner Strasse 313-315, AT-1210 Wien
Web: www.rkoller.com/worldwide
Telefonnummer: +43 2841 8207

Name: Bibus
Info: 3D-Drucker 3D-Scanner Software
Adresse: Eduard Klinger-Strasse 12, 3423 St. Andrä-Wördern
Web: <http://www.bibus.at/>
Telefonnummer: +43 2242 33 388, +43 2242 33 388 10

Name: bs-modelshop GmbH Modelshop Vienna
Info: 3D-Zubehör, Materialien
Adresse: Gutheil-Schoder-Gasse 8, AT-1100 Wien
Web: www.modelshop-vienna.com
E-Mail: info@modelshop-vienna.com
Telefonnummer: +43 1 66707004650

Name: BTA GmbH
Info: Großhandel mit Beschlag- und Kunststoffteilen
Adresse: 4171 St. Peter am Wimberg
Web: www.beschlag-technik.com
E-Mail: office@beschlag-technik.com
Telefonnummer: 0660 482 48 15

Name: Canon
Info: 3D-Drucker
Adresse: Oberlaaer Strasse 233, A-1100 Wien
Web: www.canon.at
E-Mail: cpsaustria@canon.at
Telefonnummer: +43 1 680 88 0

Name: HaraTech
Info: 3D-Drucker, 3D-Scanner
Adresse: Allhaming 7, 4511 Allhaming
Web: <http://www.haratech.at/>
E-Mail: office@haratech.at
Telefonnummer: +43 7227 21028-0, +43 7227 21028-20

Name: Hewlett-Packard
Info: 3D-Drucker
Adresse: Technologiestraße 5, 1120 Wien
Web: www.hp.com/at
Telefonnummer: +43 1 3400 210 100

Name: MostTech - Technologie Agentur
Info: 3D-Drucker, Software
Adresse: Hürm 121 3383
Web: <http://www.mosttech.at>
E-Mail: info@mosttech.at
Telefonnummer: +43 664 1492444

Name: Prirevo
Info: 3D-Drucker, 3D-Scanner, Software, Druckmaterialien, Zubehör
Adresse: Eferdinger Str. 62, 4600 Wels, Österreich
Web: <http://www.prirevo.at/>
E-Mail: office@prirevo.com
Telefonnummer: 07242 277004

Name: VirtuMake GmbH
Info: 3D-Scanner Software
Adresse: 1070 Wien, Österreich, Lerchenfeldstraße 129
Web: <http://www.virtumake.com>
E-Mail: office@virtumake.com
Telefonnummer: +4369911407402, +4369911407402

Name: Westcam Datentechnik GmbH
Info: 3D-Drucker, 3D-Scanner, Druckmaterialien, Software
Adresse: 6068 Mils bei Hall
Web: <http://www.westcam-datentechnik.at>
E-Mail: office@westcam.at
Telefonnummer: +43 5223 555090, +43 5223 55509 100

Name: 3DCopySystems GmbH
Info: 3D-Scanner
Adresse: Südtiroler Platz 13, Graz
Web: <http://www.3dcopysystems.com>
E-Mail: office@3dcopysystems.com
Telefonnummer: +43 (316) 890449

Name: 3D-Fabrik - 3D Drucker Handels GmbH
Info: 3D Druckservice, 3D-Scanning, 3D-Drucker + Zubehör Händler
Adresse: Stiegstraße 3, 6830 Rankweil
Web: <http://www.3d-fabrik.at>
E-Mail: office@3d-fabrik.at
Telefonnummer: +43 660 4565527

Name: 3DMarkt
Info: 3D-Drucker, Druckmaterialien, Zubehör
Adresse: Tarviser Straße 11, 9020 Klagenfurt
Web: <http://3dmarkt.at/>
E-Mail: info@3dmarkt.at
Telefonnummer: 00436601686404

Name: 3D-Solutions
Info: 3D-Drucker
Adresse: Gschaid bei Birkfeld 120a, 8190 Gschaid bei Birkfeld
Web: <https://www.3d-solutions.at>
E-Mail: office@3d-solutions.at
Telefonnummer: 0660 2700528

Hersteller:

Name: Evotech
Info: 3D-Drucker
Adresse: Gahberggasse 9, 4861 Schörfling am Attersee
Web: www.evo-tech.eu
E-Mail: office@evo-tech.eu
Telefonnummer: 07662 38400

Name: HARATECH
Info: Materialien
Adresse: Peter-Behrens-Platz 6 Magazin EG, 4020 Linz
Web: <http://www.haratech.at>
E-Mail: office@haratech.at
Telefonnummer: +43 732 287070

Name: HAGE
Info: 3D-Drucker, Sondermaschinenbau
Adresse: Hauptstraße 52e, 8742 Obdach
Web: <http://www.hage.at>
E-Mail: office@hage.at
Telefonnummer: +43(0)3578 2209

Name: Lithoz
Info: Materialien, Systeme
Adresse: Mollardgasse 85a/2/64-69, 1060 Wien
Web: <http://www.lithoz.com>
E-Mail: office@lithoz.com
Telefonnummer: +43 1 9346612 200

Name: Materialise

Info: 3D-Drucker, Zubehör, 3D-Druckservice

Adresse: Gutheil-Schoder-Gasse 17, AT-1230

Wien

Web: www.materialise.com

E-Mail: prototype@materialise.com

Telefonnummer: +43 1 6620453

Name: Reprap Austria

Info: 3D-Drucker, 3D-Druck Service, 3D Selfies –

Minifiguren, CAD Service

Adresse: Schönau 6, 4550 Kremsmünster

Web: <http://www.reprap.cc>

E-Mail: admin@reprap.cc

Telefonnummer: 004 368120905779, 004

368120905779

Name: W2P Engineering GmbH (W2P)

Info: 3D-Drucker

Adresse: Am Campus 1, 3400 Klosterneuburg

Web: <https://www.way2production.at>

E-Mail: office@way2production.at

Telefonnummer: +43 13062857