

ENTWICKLUNG EINES ORGANISATIONS- MODELLS ZUR GESTALTUNG VON ADDITIVE MANUFACTURING WERTSCHÖPFUNGS- ÖKOSYSTEMEN

Simon Hiller

Simon Hiller

Entwicklung eines Organisationsmodells zur Gestaltung von
Additive Manufacturing Wertschöpfungsökosystemen

Simon Hiller

Entwicklung eines Organisationsmodells zur Gestaltung von
Additive Manufacturing Wertschöpfungsökosystemen

An der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

Referent: Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder

Korreferent: Prof. Dr. Heiner Lasi

Tag der mündlichen Prüfung: 18.07.2025

ENTWICKLUNG EINES ORGANISATIONSMODELLS ZUR GESTALTUNG VON ADDITIVE MANUFACTURING WERTSCHÖPFUNGSEÖKOSYSTEMEN

Simon Hiller

Nutzungsvorbehalt nach § 44b Satz 3 UrhG:

Die Steinbeis-Stiftung für Wirtschaftsförderung behält sich eine Nutzung ihrer Inhalte für kommerzielles Text- und Data-Mining im Sinne von § 44b UrhG ausdrücklich vor. Für den Erwerb einer entsprechenden Nutzungs- lizenz wenden Sie sich bitte an die Steinbeis-Stiftung für Wirtschaftsförderung.

Hinweis im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes:

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes für alle Geschlechter.

Hersteller im Sinne der Produktsicherheitsverordnung (GPSR):

Steinbeis-Stiftung für Wirtschaftsförderung | Steinbeis-Edition,
Adornostraße 8, 70599 Stuttgart, DE | edition@steinbeis.de

Impressum

© 2025 Steinbeis-Edition

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Schriftenreihe des Ferdinand-Steinbeis-Instituts zur Digitalen Business Transformation | Band 3
Heiner Lasi, David Rygl, Helmut Schneider, Eva Deuchert, Jens Lachenmaier, Dirk Slama, Daniel Werth (Hrsg.)

Simon Hiller

Entwicklung eines Organisationsmodells zur Gestaltung von Additive Manufacturing Wertschöpfungsökosystemen

1. Auflage, 2025 | Steinbeis-Edition, Stuttgart
ISBN 978-3-95663-327-0
Technische Universität Dresden, Dissertation 2025

Satz: Simon Hiller | technisch aufbereitet von Steinbeis-Edition

Verlag: Steinbeis-Edition | Steinbeis-Stiftung, Adornostraße 8, 70599 Stuttgart

Druck: Online-Druck GmbH & Co. KG, Eggertstraße 28, 33100 Paderborn

Steinbeis ist mit seiner Plattform ein verlässlicher Partner für Unternehmensgründungen und Projekte. Wir unterstützen Menschen und Organisationen aus dem akademischen und wirtschaftlichen Umfeld, die ihr Know-how durch konkrete Projekte in Forschung, Entwicklung, Beratung und Qualifizierung unternehmerisch und praxisnah zur Anwendung bringen wollen. Über unsere Plattform wurden bereits über 2.500 Unternehmen gegründet. Entstanden ist ein Verbund aus rund 5.000 Expertinnen und Experten in über 1.000 Unternehmen, die jährlich mit mehr als 10.000 Kunden Projekte durchführen. So werden Unternehmen und Mitarbeitende professionell in der Kompetenzbildung und damit für den Erfolg im Wettbewerb unterstützt. Die Steinbeis-Edition verlegt ausgewählte Themen aus dem Steinbeis-Verbund.

233698-2025-11 | www.steinbeis-edition.de | edition@steinbeis.de

Geleitwort

Die relativ neue Technologie der additiven Fertigung ermöglicht die Herstellung von Produkten mit Geometrien und Eigenschaften, welche bislang mittels konventioneller Fertigungsverfahren nicht herstellbar waren. Bisher nicht mögliche Freiheitsgrade wie Designfreiheit, Individualisierung sowie Orts- und Zeitunabhängigkeit können nunmehr zielführend genutzt werden. Welche Möglichkeiten sich bieten, ist allerdings oft nicht bekannt. Es fehlt an Wissen zur Gestaltung von Prozessketten über Unternehmensgrenzen hinaus. Diese können durch die Möglichkeiten und der zunehmenden Verbreitung von cyber-physischen-Produktionssystemen vielfältige Formen annehmen und bieten insbesondere Klein- und Mittelunternehmen die Chance, ihr Produktspektrum und Leistungsangebot zu erweitern.

Simon Hiller beschreibt in seiner Dissertation die neuen Möglichkeiten im Rahmen eines Forschungsansatzes, der ausgehend von den Ergebnissen einer Analysephase in einer Abstraktion Lösungsansätze entwickelt und diese dann in die reale Nutzung überführt. Es wird ein Ökosystem beschrieben, in welchem Prozessketten für Produkte (Waren und Dienstleistungen) unter Nutzung der neuen Möglichkeiten entwickelt werden können.

Für die Nutzung der Erkenntnisse wird der additive Manufacturing Ökosystem Navigator entwickelt, welcher Unternehmen die Möglichkeiten der additiven Fertigung in umfassenden Prozessketten aufzeigt und sie zu neuartigen Prozessketten für innovative Produkte hinführt.

Dresden, im Juli 2025

Martin Schmauder

Professur Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Dresden

Vorwort der Herausgeber

Band 3

Pünktlich zum 10-jährigen Bestehen des Ferdinand-Steinbeis-Instituts (FSTI) erscheint die dritte Dissertationsschrift dieser Herausgeberschaft – erstellt von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter, der die Genese des Instituts bestens kennt und mitgestaltet hat.

Prägend für die vergangenen Jahre war auch für ihn, wissenschaftliche Forschung und Praxis in Handwerk und Mittelstand zusammenzuführen – ganz nach dem Vorbild unseres Namensgebers Ferdinand von Steinbeis.

Im Einklang mit diesem Anspruch des FSTI entwickelt der Autor in dieser Dissertation nicht nur ein wissenschaftliches Konzept für die Bildung zukunftsfähiger Wertschöpfungsökosysteme im produzierenden Bereich, sondern überführt dieses in einen Ökosystem Navigator, der als Zielgruppe insbesondere den Mittelstand und das Handwerk fokussiert und eine pragmatische Handreichung darstellt.

Damit zeigt diese Dissertation deutlich, dass wissenschaftlicher Fortschritt und reale Wirkung keine Gegensätze sind, sondern synergetische Ziele einer anspruchsvollen und herausfordernden Dissertation.

Die Herausgeber

**Heiner Lasi, David Rygl, Helmut Schneider, Eva Deuchert, Jens Lachenmaier,
Dirk Slama, Daniel Werth**

Vorwort des Autors

Mit großer Dankbarkeit blicke ich auf die Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Ferdinand-Steinbeis-Institut (FSTI) zurück, in der diese Arbeit entstand. Das FSTI bot mir die ideale Forschungsumgebung, um Wertschöpfungsveränderungen durch Additive Fertigung als cyber-phisches System zu untersuchen. Mein Ziel war es, wissenschaftliche Exzellenz mit praxisrelevantem Nutzen zu verbinden.

Dieses Vorhaben wäre ohne die Unterstützung vieler Menschen und der Promotionsumgebung der TU Dresden nicht möglich gewesen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Martin Schmauder (TU Dresden) und Herrn Prof. Dr. Heiner Lasi (FSTI), die mir nicht nur eine wissenschaftliche Heimat boten, sondern durch ihre Impulse, ihren Freiraum und ihre Unterstützung maßgeblich zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Ein herzlicher Dank geht an Michael Köhnlein, der mich am FSTI mit seinem Praxiswissen bereichert und gefördert hat. Ebenso danke ich Prof. Dr. Jens Lachenmaier, Prof. Dr. David Rygl und Prof. Dr. Dr. Helmut Schneider für ihre wertvolle Zeit, die anregenden Diskussionen und hilfreichen Anmerkungen während meiner Arbeit.

Über die Institutsgrenzen hinaus durfte ich auf die Unterstützung von Dr. Dimitri Petrik (Universität Stuttgart) zählen, der mir beim Publizieren wissenschaftlicher Arbeiten stets zur Seite stand – auch hierfür herzlichen Dank.

Dem gesamten dualen Team des Ferdinand-Steinbeis-Instituts danke ich für die kollegiale Zusammenarbeit und den beständigen Rückhalt. Ein besonderer Dank gebührt Petra Dettinger, Dr. Dominik Morar, Alexander Neff und Dr. Patrick Weber für ihre herausragende Unterstützung.

Mein Dank gilt auch allen Unternehmensvertretern und Interviewpartnern für ihre Zeit und ihr wertvolles Fachwissen, die diese Arbeit in dieser Form erst möglich gemacht haben.

Mein tief empfundener Dank gebührt meiner Familie: Meinen Eltern Gudrun und Axel sowie meinem Bruder Tobias, die mir seit der Schulzeit, während des Studiums und bis zur Promotion stets mit unermüdlicher Unterstützung, Vertrauen und Zuspruch zur Seite standen. Meiner Frau Hannah und meinen Kindern Nino und Alma danke ich von Herzen für ihre bedingungslose Rückendeckung, ihr Auffangen in schwierigen Momenten und dafür, dass sie mir immer wieder zeigen, worauf es im Leben wirklich ankommt. Ohne euch wäre diese Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen – was ihr getan habt, erfüllt mich mit tiefer Dankbarkeit.

Den abschließenden Zeilen dieser Danksagung widme ich meinem Heiland Jesus Christus, durch den ich alles vermag – auch diese Arbeit.

Heilbronn & Stuttgart, im Juli 2025

Simon Hiller

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	X
TABELLENVERZEICHNIS	XIII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XIII
KURZFASSUNG	XV
1 PROBLEMSTELLUNG UND MOTIVATION	1
1.1 BEOBSCHAUERUNG IN DER PRAXIS	2
1.2 PROBLEMSTELLUNG UND FORSCHUNGSPRÄGUNG	5
1.3 AUFBAU DER ARBEIT	6
2 STAND DER TECHNIK UND WISSENSCHAFT	8
2.1 ADDITIVE MANUFACTURING	8
2.1.1 <i>Additive Manufacturing Prozess</i>	8
2.1.2 <i>Additive Manufacturing Verfahren</i>	10
2.1.3 <i>Additive Manufacturing Eigenschaften</i>	13
2.1.4 <i>Additive Manufacturing Anwendungsgebiete</i>	15
2.2 INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS	19
2.2.1 <i>Cyber-physische Systeme</i>	19
2.2.2 <i>Industrial Internet of Things Framework</i>	20
2.2.3 <i>Einordnung von Additive Manufacturing</i>	23
2.3 WERTSCHÖPFUNG IN ÖKOSYSTEMEN	24
2.4 ADDITIVE MANUFACTURING ORGANISATIONSMODELLE	25
3 ERKENNTNISPROZESS MIT FORSCHUNGSPRÄGUNG UND ZIELSETZUNG	31
3.1 ERKENNTNISPROZESS GESTALTUNGSORIENTIERTER FORSCHUNG	31
3.2 ERKENNTNISPROZESS DER ARBEIT	32
3.2.1 <i>Analysephase</i>	32
3.2.2 <i>Entwurfsphase</i>	33
3.2.3 <i>Evaluationsphase</i>	39
3.2.4 <i>Diffusionsphase</i>	40
4 GESTALTUNG DES ADDITIVE MANUFACTURING ORGANISATIONSMODELLS UND DER METHODE	41
4.1 MODELL	41
4.1.1 <i>Teilforschungsfrage 1: Elemente</i>	41
4.1.2 <i>Teilforschungsfrage 2: Ausgestaltung</i>	55
4.1.3 <i>Teilforschungsfrage 3: Verbindungen</i>	85
4.2 METHODE	90

4.2.1	<i>Teilforschungsfrage 4: Methode</i>	90
5	EVALUATION DER ERGEBNISSE	97
5.1	METHODISCHE FUNDIERUNG.....	97
5.2	EVALUATIONSERGEBNISSE.....	100
6	DIFFUSION DER ERGEBNISSE	109
6.1	DIFFUSION IN DIE WISSENSCHAFT	109
6.2	DIFFUSION IN DIE PRAXIS	110
7	KRITISCHE WÜRDIGUNG	111
8	AUSBLICK UND ZUKÜNTIGER FORSCHUNGSBEDARF	113
ANHANG	114
A1	GENERIERTE ABBILDUNGEN.....	114
A2	SUCHSTRINGS	117
A3	INTERVIEWLEITFADEN DER CASE STUDY ADDITIVE MANUFACTURING DIENSTLEISTER UND PLATTFORM	118
A4	INTERVIEWLEITFADEN DER INTERVIEWREIHE.....	120
A5	ANWENDUNGSFÄLLE DES ADDITIVE MANUFACTURING ÖKOSYSTEM NAVIGATORS.....	121
	<i>Anwendungsfall 1: Umgestaltung eines konventionellen Bauteils hin zu einem Additive Manufacturing Bauteil</i>	121
	<i>Anwendungsfall 2: Neugestaltung eines Additive Manufacturing Bauteils</i>	135
	<i>Anwendungsfall 3: Erneute Bestellung eines Additive Manufacturing Bauteils</i>	148
	<i>Anwendungsfall 4: Eigene Additive Manufacturing Produktionseinheit</i>	157
	<i>Allgemein, ohne Anwendungsfall</i>	164
A6	ADDITIVE MANUFACTURING ÖKOSYSTEM NAVIGATOR IN DER ANWENDUNG.....	177
A7	LEITFADEN EVALUATION	187
	LITERATURVERZEICHNIS.....	188

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Additive Manufacturing Prozess	1
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 3: Additive Manufacturing Prozess	9
Abbildung 4: Marktaufteilung Materialien	11
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Stereolithografie-Verfahrens	12
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Fused Layer Modeling Verfahrens	13
Abbildung 7: Schematische Darstellung des Laser-Sintern Verfahrens	13
Abbildung 8: Additive Manufacturing Eigenschaften und die Auswirkung auf den Produktlebenszyklus	15
Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung der konventionellen Fertigung im Vergleich zu Additive Manufacturing	16
Abbildung 10: Vereinfachte Darstellung der Kosten über die Bauteilkomplexität der konventionellen Fertigung im Vergleich zu Additive Manufacturing	16
Abbildung 11: Halterung in einem Flugzeug, mittels Additive Manufacturing gefertigt	17
Abbildung 12: Spritzgusswerkzeug mit konturnaher Kühlung, gefertigt mittels Additive Manufacturing	18
Abbildung 13: Gewichtsreduktion bei einem Fräskopf durch innenliegende Wabenstruktur	18
Abbildung 14: Elemente eines cyber-physischen Systems	19
Abbildung 15: Verständnis von Industrial Internet of Things über Branchengrenzen hinweg	20
Abbildung 16: Elemente der Industrial Internet Reference Architecture	21
Abbildung 17: Functional Domains	22
Abbildung 18: Fokus des Industrial IoT Consortiums und der Plattform Industrie 4.0	23
Abbildung 19: Unterschiedliche Verständnisse und Einordnung von Additive Manufacturing	23
Abbildung 20: Additive Manufacturing Framework mit Implementierungsszenarien Matrix	26
Abbildung 21: Vorgehen der Literaturrecherche	27
Abbildung 22: Erkenntnisprozess gestaltungsorientierte Forschung	31
Abbildung 23: Analysephase der Arbeit	32
Abbildung 24: Durchgeführte Schritte der induktiven Kategorienbildung zur Ermittlung von Elementen	36
Abbildung 25: Schematische Darstellung des Proof of Concept Micro Testbed Additive Manufacturing 1	46
Abbildung 26: Digitales Produktmodell einer Halterung	50
Abbildung 27: Gehäuse eines Lüfterrades, in mittels Additive Manufacturing gefertigten Formen gegossen	50
Abbildung 28: Türgriff eines Oldtimer-Sportwagens, durch Additive Manufacturing gefertigt	51
Abbildung 29: Zuordnung der identifizierten Bausteine aus den Cases in die Viewpoints der Industrial Internet Reference Architecture	53
Abbildung 30: Identifizierte und gebündelte Additive Manufacturing Elemente aus den drei Case Studies	54
Abbildung 31: Elemente des Additive Manufacturing Organisationsmodells	54
Abbildung 32: Additive Manufacturing Business Potenziale	59
Abbildung 33: Additive Manufacturing Ökosystem eines Additive Manufacturing Dienstleisters	61
Abbildung 34: Additive Manufacturing Rollen und Wertaktivitäten	64
Abbildung 35: Anwendungsfall 1 - Umgestaltung eines konventionellen Bauteils	67
Abbildung 36: Anwendungsfall 2 - Neugestaltung eines Additive Manufacturing Bauteils	68

<i>Abbildung 37: Anwendungsfall 3 - Erneute Bestellung eines Additive Manufacturing Bauteils</i>	68
<i>Abbildung 38: Anwendungsfall 4 - Erstellung einer zugeschnittenen Additive Manufacturing Produktionseinheit</i>	69
<i>Abbildung 39: Elemente des Additive Manufacturing Organisationsmodells auf der Businessebene</i>	69
<i>Abbildung 40: Additive Manufacturing Ökosystem mit Aktivitäten und Beziehungen</i>	71
<i>Abbildung 41: Element des Additive Manufacturing Organisationsmodells auf der Anwendungsebene</i> ..	74
<i>Abbildung 42: Elemente der Funktionsebene</i>	75
<i>Abbildung 43: Additive Manufacturing Wertschöpfungsprozess auf der Funktionsebene</i>	75
<i>Abbildung 44: Elemente in Bezug auf den Prozessschritt Design</i>	77
<i>Abbildung 45: Elemente in Bezug auf die Phasen Pre-Processing und Processing</i>	79
<i>Abbildung 46: Elemente in Bezug auf die Phase Post-Processing</i>	81
<i>Abbildung 47: Elemente in Bezug auf die Phase Montage</i>	82
<i>Abbildung 48: Zusammenfassung der Funktionsebene</i>	83
<i>Abbildung 49: Elemente der Funktionsebene des Additive Manufacturing Organisationsmodells</i>	84
<i>Abbildung 50: Additive Manufacturing Organisationsmodell</i>	85
<i>Abbildung 51: Verbindungen des Elements Additive Manufacturing Anwendungsfall</i>	86
<i>Abbildung 52: Verbindungen des Elements Partner im Additive Manufacturing Ökosystem</i>	87
<i>Abbildung 53: Verbindung der Elemente Grundlegende Additive Manufacturing Geschäftsfähigkeiten und Additive Manufacturing Business Potenziale</i>	89
<i>Abbildung 54: Verbindungen des Elements Aktivitäten innerhalb des Additive Manufacturing Ökosystems</i>	89
<i>Abbildung 55: Inhaltliche Verbindungen der Elemente auf der Funktionsebene</i>	90
<i>Abbildung 56: Element Additive Manufacturing Know-how</i>	91
<i>Abbildung 57: Element Additive Manufacturing Anwendungsfall</i>	92
<i>Abbildung 58: Element Additive Manufacturing Business Potenziale</i>	92
<i>Abbildung 59: Element Partner im Additive Manufacturing Ökosystem</i>	93
<i>Abbildung 60: Element Grundlegende Additive Manufacturing Geschäftsfähigkeiten</i>	93
<i>Abbildung 61: Element Aktivitäten innerhalb des Additive Manufacturing Ökosystems</i>	94
<i>Abbildung 62: Elemente der Funktionsebene</i>	94
<i>Abbildung 63: Schema des Additive Manufacturing Ökosystem Navigators</i>	96
<i>Abbildung 64: Generierte Abbildungen</i>	114
<i>Abbildung 65: Generierte Abbildungen</i>	115
<i>Abbildung 66: Generierte Abbildungen</i>	116
<i>Abbildung 67: Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 1</i>	123
<i>Abbildung 68: Aktivitäten der Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 1</i>	125
<i>Abbildung 69: Aktivitäten des Additive Manufacturing Initiators im Anwendungsfall 1</i>	126
<i>Abbildung 70: Aktivitäten des Additive Manufacturing Plattformanbieters im Anwendungsfall 1</i>	127
<i>Abbildung 71: Aktivitäten des Additive Manufacturing Konstrukteurs & Produzenten im Anwendungsfall 1</i>	128
<i>Abbildung 72: Aktivitäten des Additive Manufacturing Veredlers im Anwendungsfall 1</i>	129
<i>Abbildung 73: Aktivitäten der Additive Manufacturing Beratung im Anwendungsfall 1</i>	130
<i>Abbildung 74: Aktivitäten der Additive Manufacturing Forscher im Anwendungsfall 1</i>	131
<i>Abbildung 75: Aktivitäten des Additive Manufacturing Material Lieferanten im Anwendungsfall 1</i>	132
<i>Abbildung 76: Funktionsebene des Anwendungsfalls 1</i>	134
<i>Abbildung 77: Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 2</i>	137

<i>Abbildung 78: Aktivitäten der Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 2</i>	139
<i>Abbildung 79: Aktivitäten des Additive Manufacturing Initiators im Anwendungsfall 2</i>	140
<i>Abbildung 80: Aktivitäten des Additive Manufacturing Plattformanbieters im Anwendungsfall 2</i>	141
<i>Abbildung 81: Aktivität der Additive Manufacturing Beratung im Anwendungsfall 2</i>	142
<i>Abbildung 82: Aktivitäten der Additive Manufacturing Forscher im Anwendungsfall 2</i>	143
<i>Abbildung 83: Aktivitäten des Additive Manufacturing Material Lieferanten im Anwendungsfall 2</i>	144
<i>Abbildung 84: Aktivitäten des Additive Manufacturing Konstrukteurs & Produzenten im Anwendungsfall 2</i>	145
<i>Abbildung 85: Aktivitäten des Additive Manufacturing Veredlers im Anwendungsfall 2</i>	146
<i>Abbildung 86: Funktionsebene des Anwendungsfalls 2</i>	147
<i>Abbildung 87: Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 3</i>	149
<i>Abbildung 88: Aktivitäten der Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 3</i>	151
<i>Abbildung 89: Aktivitäten des Additive Manufacturing Initiators im Anwendungsfall 3</i>	152
<i>Abbildung 90: Aktivitäten des Additive Manufacturing Plattformanbieters im Anwendungsfall 3</i>	153
<i>Abbildung 91: Aktivitäten des Additive Manufacturing Konstrukteurs & Produzenten im Anwendungsfall 3</i>	154
<i>Abbildung 92: Aktivitäten des Additive Manufacturing Veredlers im Anwendungsfall 3</i>	155
<i>Abbildung 93: Funktionsebene des Anwendungsfalls 3</i>	156
<i>Abbildung 94: Partner-Rolle im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 4</i>	158
<i>Abbildung 95: Aktivitäten der Partner-Rollen im Additive Manufacturing Ökosystem für den Anwendungsfall 4</i>	161
<i>Abbildung 96: Aktivitäten des Additive Manufacturing Systemanbieters im Anwendungsfall 4</i>	162
<i>Abbildung 97: Sich schneidende Prozessketten des Additive Manufacturing Prozesses und des Entstehungsprozesses von Additive Manufacturing Produktionseinheiten</i>	163
<i>Abbildung 98: Aktivitäten des Additive Manufacturing Initiators ohne Anwendungsfall</i>	166
<i>Abbildung 99: Aktivitäten der Additive Manufacturing Beratung ohne Anwendungsfall</i>	167
<i>Abbildung 100: Aktivitäten des Additive Manufacturing Konstrukteurs & Produzenten ohne Anwendungsfall</i>	168
<i>Abbildung 101: Aktivitäten des Additive Manufacturing Veredlers ohne Anwendungsfall</i>	169
<i>Abbildung 102: Aktivität des Additive Manufacturing IT Lösungsanbieters ohne Anwendungsfall</i>	170
<i>Abbildung 103: Aktivitäten des Additive Manufacturing Systemanbieters ohne Anwendungsfall</i>	171
<i>Abbildung 104: Aktivitäten des Additive Manufacturing Plattformanbieters ohne Anwendungsfall</i>	172
<i>Abbildung 105: Aktivitäten des Additive Manufacturing Forschers ohne Anwendungsfall</i>	173
<i>Abbildung 106: Aktivitäten des Additive Manufacturing Material Lieferanten ohne Anwendungsfall</i>	174
<i>Abbildung 107: Aktivität des Additive Manufacturing Materialeinkäufers ohne Anwendungsfall</i>	175
<i>Abbildung 108: Funktionsebene ohne Anwendungsfall</i>	176
<i>Abbildung 109: PowerPoint-Folie 1 Additive Manufacturing Know-how</i>	178
<i>Abbildung 110: PowerPoint-Folie 2 Additive Manufacturing Know-how</i>	179
<i>Abbildung 111: PowerPoint-Folie zur Auswahl des Anwendungsfalls</i>	181
<i>Abbildung 112: PowerPoint-Folie zu Schritt 3, Auswahl der Partner-Rolle</i>	182
<i>Abbildung 113: PowerPoint-Folie zu Schritt 4</i>	184
<i>Abbildung 114: PowerPoint-Folie zu Schritt 5 Funktionsebene</i>	186

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Etablierte Additive Manufacturing Verfahren</i>	11
<i>Tabelle 2: Ergebnisübersicht der Literaturrecherche</i>	28
<i>Tabelle 3: Übersicht Methoden innerhalb der Entwurfsphase</i>	33
<i>Tabelle 4: Teilnehmende der Interviewreihe</i>	37
<i>Tabelle 5: Zwischenevaluationen der Elemente des Additive Manufacturing Organisationsmodells</i>	39
<i>Tabelle 6: Interviews Case Study Additive Manufacturing Dienstleister und Additive Manufacturing Plattform</i>	43
<i>Tabelle 7: Teilnehmende Unternehmen des Micro Testbeds Additive Manufacturing 1</i>	45
<i>Tabelle 8: Workshops des Micro Testbeds Additive Manufacturing 1</i>	45
<i>Tabelle 9: Teilnehmende Unternehmen des Micro Testbeds Additive Manufacturing 2</i>	49
<i>Tabelle 10: Workshops des Micro Testbeds Additive Manufacturing 2</i>	49
<i>Tabelle 11: Identifizierte Additive Manufacturing Fähigkeiten entlang des Produktlebenszyklus</i>	57
<i>Tabelle 12: Additive Manufacturing Business Potenziale</i>	58
<i>Tabelle 13: Additive Manufacturing Wertaktivitäten innerhalb des Additive Manufacturing Ökosystems</i>	62
<i>Tabelle 14: Additive Manufacturing Rollen und ihre Value Proposition</i>	65
<i>Tabelle 15: Beziehungen der Aktivitäten innerhalb des Additive Manufacturing Ökosystems</i>	72
<i>Tabelle 16: Zuordnung der Additive Manufacturing Business Potenziale auf die vier Additive Manufacturing Anwendungsfälle</i>	86
<i>Tabelle 17: Verbindungen zwischen Partnern im Additive Manufacturing Ökosystem und grundlegende Additive Manufacturing Geschäftsfähigkeiten</i>	87
<i>Tabelle 18: Evaluationskriterien und die dazugehörigen Fragestellungen</i>	98
<i>Tabelle 19: Liste der geführten Interviews in der Evaluationsphase</i>	99
<i>Tabelle 20: Getroffene Auswahl im Additive Manufacturing Ökosystem Navigator innerhalb der Evaluationsinterviews</i>	100
<i>Tabelle 21: Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 1</i>	122
<i>Tabelle 22: Indirekte notwendige Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 1</i>	124
<i>Tabelle 23: Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 2</i>	135
<i>Tabelle 24: Indirekt notwendige Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 2</i>	138
<i>Tabelle 25: Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 3</i>	148
<i>Tabelle 26: Indirekt notwendige Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 3</i>	150
<i>Tabelle 27: Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 4</i>	157
<i>Tabelle 28: Indirekt notwendige Partner im Additive Manufacturing Ökosystem Anwendungsfall 4</i>	159
<i>Tabelle 29: Additive Manufacturing Partner, deren Wertversprechen sowie deren Geschäftsfähigkeiten</i>	164

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
AM	Additive Manufacturing (Nur in Abbildungen angewendet)
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
CNC	Computerized Numerical Control
CPS	Cyber-Physische Systeme
FDM	Fused Deposition Modeling
IIC	Industry IoT Consortium
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IoT	Internet of Things
IS	Information System
IT	Informationstechnik
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
PoC	Proof of Concept
STL	Stereolithografie

Kurzfassung

Deutsch: Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Additive Manufacturing, umgangssprachlich auch unter dem Begriff 3D-Druck bekannt, ganzheitlich zu betrachten, um Additive Manufacturing wertschöpfend einzusetzen. Hierfür wurden zwei Ergebnisse gestaltet, zum einen das Additive Manufacturing Organisationsmodell, welches, als Modell, eine ganzheitliche Sicht auf Additive Manufacturing ermöglicht, zum anderen der Additive Manufacturing Ökosystem Navigator, der als Methode ein strukturiertes und angeleitetes Durchlaufen des Additive Manufacturing Organisationsmodells ermöglicht.

Additive Manufacturing wird über seine Eigenschaften, die denen eines cyber-physischen Systems (CPS) gleichen, als Ausprägung eines solchen gesehen. Somit wird innerhalb dieser Arbeit eine technische, betriebswirtschaftliche, Prozess- und Ökosystem-Perspektive eingenommen. Die Arbeit baut auf den Beobachtungen aus der Praxis auf, dass die Wertschöpfung im Gesamtkontext von Additive Manufacturing als CPS vielschichtig ist, jedoch Additive Manufacturing von Unternehmen als Fertigungstechnologie wahrgenommen und auf die Produktion reduziert wird. Dabei herrscht ein enges Verständnis der Wertschöpfung durch Additive Manufacturing, wodurch Geschäftspotenzial verloren geht. Die Realisierung der vielschichtigen Potenziale stellt Unternehmen vor Herausforderungen. Diese reduzierte Sicht auf Additive Manufacturing spiegelt sich nicht nur in der Praxis, sondern auch in der wissenschaftlichen Literatur wider.

Die Arbeit folgt den vier Phasen Analyse, Entwurf, Evaluation und Diffusion von gestaltungsorientierter Forschung. Die dieser Arbeit zugrundeliegende Forschungsfrage ist wie folgt formuliert: *Wie kann ein Organisationsmodell gestaltet sein, das Unternehmen dabei unterstützt, Additive Manufacturing als CPS wirksam einzusetzen?*

Das Additive Manufacturing Organisationsmodell baut auf Ebenen und Elementen der Industrial Internet Reference Architecture auf, die für die Beschreibung von CPS im industriellen Einsatz geschaffen wurde.

Mittels drei Case Studies werden die für das Additive Manufacturing Organisationsmodell relevanten Elemente ermittelt. Auf Basis einer der Case Studies sowie einer Interviewreihe von 14 teil-strukturierten Interviews werden die relevanten Elemente des Additive Manufacturing Organisationsmodells ausgestaltet. In einem dritten Schritt werden die Verbindungen der einzelnen Elemente zueinander ebenfalls ausgestaltet. Auf Basis des somit gestalteten Additive Manufacturing Organisationsmodells wurde, für die praktische Anwendung, der Additive Manufacturing Ökosystem Navigator geschaffen. Diese Methode und das Additive Manufacturing Organisationsmodell wurden mittels sieben teil-strukturierten Interviews mit Beratern und Unternehmen final evaluiert.

Aus wissenschaftlicher Betrachtung bietet die Arbeit einen Mehrwert in der ganzheitlichen Gestaltung von CPS im speziellen Bezug auf Additive Manufacturing. In der Praxis bieten die Ergebnisse einen ganzheitlichen Blick auf Additive Manufacturing und helfen Unternehmen, die damit verbundenen Vielschichtigkeiten zu meistern und Potenziale zu heben.

English: This dissertation aims to take a holistic view of additive manufacturing (Additive Manufacturing), also known colloquially as 3D printing, with the goal to use Additive Manufacturing to create value.

Two artifacts were created for this purpose: Firstly, the Additive Manufacturing organizational model, which, as a model, enables a holistic view of Additive Manufacturing. Secondly, the Additive Manufacturing ecosystem navigator, which, as a method, enables a structured and guided run through the Additive Manufacturing organizational model.

Due to its characteristics, Additive Manufacturing is regarded as a cyber-physical system (CPS). This work therefore takes a technical, business, process and ecosystem perspective. The work builds on observations in practice which show that value creation in the overall context of Additive Manufacturing as a CPS is multi-layered, but that Additive Manufacturing is perceived by companies solely as a manufacturing technology and is therefore reduced to the production domain. This narrow understanding of value creation through Additive Manufacturing, results in lost business potential. The reduced view of Additive Manufacturing is reflected not only in practice, but also in the scientific literature. Realizing these multi-layered potentials poses challenges for companies.

The dissertation follows four phases of design-oriented research: analysis, design, evaluation and diffusion. The research question at the foundation of this work is formulated as follows: *How can an organizational model be designed to support companies in effectively utilizing additive manufacturing as a cyber-physical system in their value creation?* The Additive Manufacturing organizational model is based on levels as well as elements of the Industrial Internet Reference Architecture, which was created for the description of cyber-physical systems in the industrial context.

Three case studies in the field of Additive Manufacturing are utilized to determine the elements relevant to the Additive Manufacturing value creation framework. Based on one of the case studies and a series of 14 semi-structured interviews, the relevant elements of the Additive Manufacturing organizational model are developed. Furthermore, the connections between the individual elements are also created. An Additive Manufacturing ecosystem navigator was created for the practical application of the Additive Manufacturing organizational model. This method and the Additive Manufacturing organizational model were finally evaluated by means of seven semi-structured interviews with consultants and companies. From a scientific point of view, the work offers advances the state of the art via the holistic design of CPS with special reference to Additive Manufacturing. In business practice, the artifacts offer a holistic view of Additive Manufacturing and assist companies in mastering the associated complexities and leverage potential.

1 Problemstellung und Motivation

Additive Manufacturing, auch als der dreidimensionale Druck (3D-Druck) bekannt, bringt durch die Möglichkeit der schichtweisen Fertigung von physischen Objekten nicht nur Veränderungen innerhalb der Produktion mit sich, sondern auch Veränderungen der vor- und nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus (Bauer et al., 2016; Thiesse et al., 2015). Additive Manufacturing wird mit einem disruptiven Charakter in Verbindung gebracht, wie beispielsweise die US-Hörgeräteindustrie zeigt. In einem Zeitraum von rund 500 Tagen hat sich die gesamte Hörgeräteindustrie gewandelt und nur die Unternehmen, die Additive Manufacturing zur Herstellung von patientenindividuellen Ohrpassstücken einsetzen, waren noch auf dem Markt vorhanden. Die Mitbewerber, die dies nicht taten, verschwanden vom Markt (d'Aveni, 2015).

Additive Manufacturing ermöglicht den schichtweisen Aufbau von dreidimensionalen physischen Produkten basierend auf einem digitalen Produktmodell (Gebhardt & Hötter, 2016, S. 2). Abbildung 1 zeigt den Additive Manufacturing Prozess vom digitalen Produktmodell hin zum physischen Produkt am Beispiel eines Autotürgriffs.

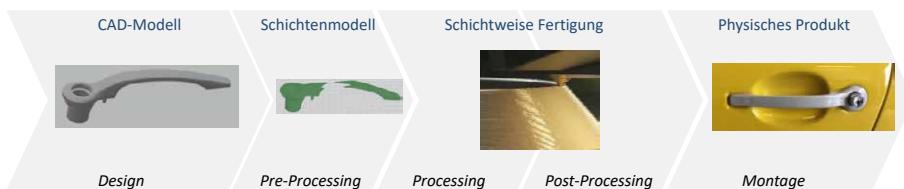


Abbildung 1: Additive Manufacturing Prozess (eigene Darstellung, basierend auf DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2017) und Gibson et al. (2015, S. 4–6))

Additive Manufacturing zeichnet sich dadurch aus, dass ausgehend vom digitalen Produktmodell direkt physische Produkte erzeugt werden können (Gebhardt & Hötter, 2016, S. 2–3). Hierbei gibt es nahezu keine Einschränkungen bezogen auf das Produktdesign, zudem können innerhalb eines Druckvorgangs physische Produkte mit unterschiedlichen Geometrien, d. h. auf Basis unterschiedlicher digitaler Produktmodelle, gefertigt werden (Weller et al., 2015).

Des Weiteren sind durch die Eigenschaften, wie beispielsweise:

- Designfreiheit (englisch: Freedom of Design) – die Möglichkeit, nahezu beliebige Geometrien zu fertigen (Gebhardt & Hötter, 2016, S. 3–4),
- Individualisierung – ökonomische Fertigung von geringen Stückzahlen (Weller et al., 2015),
- Orts- und Zeitunabhängigkeit – dezentraler Einsatz von Additive Manufacturing Produktionseinheiten (Verein Deutscher Ingenieure e. V., 2014c, S. 18),

alle Phasen des Produktlebenszyklus betroffen sind (Lasi, Morar & Kemper, 2014).

Schriftenreihe des Ferdinand-Steinbeis-Instituts zur Digitalen Business Transformation | Band 3

Additive Manufacturing (AM) – besser bekannt als 3D-Druck – eröffnet enorme Potenziale für die industrielle Wertschöpfung. Doch wie können Unternehmen diese umfassend erschließen und nicht allein auf die Wertschöpfungsphase der Produktion beschränken?

Die vorliegende Arbeit präsentiert ein detailliertes Organisationsmodell für AM als eine Ausprägung von cyber-physischen Systemen. Basierend auf Praxisbeobachtungen, Fallstudien und Experteninterviews wurde ein Modell entwickelt, das Unternehmen strukturiert dabei unterstützt, AM Wertschöpfungsökosysteme zu gestalten.

Im Fokus stehen zwei innovative Ergebnisse: Das Additive Manufacturing Organisationsmodell ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Technologie, Prozessen, Wertschöpfung und Partnernetzwerken. Der Additive Manufacturing Ökosystem Navigator bietet als Methode einen praxisorientierten Leitfaden, um komplexe Zusammenhänge zu verstehen und konkrete Potenziale zu erschließen.

Die Arbeit richtet sich an Führungskräfte und Forschende, die Additive Manufacturing strategisch nutzen und ihr Unternehmen innerhalb eines Ökosystems positionieren möchten.

Simon Hiller ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Ferdinand-Steinbeis-Institut in Heilbronn und Stuttgart und forscht zum Thema Industrial Internet of Things und cyber-physischen Systemen mit dem Fokus auf Wertschöpfung in Unternehmensökosystemen. Er studierte Medizintechnik an den Universitäten Stuttgart und Tübingen, erwarb den Master of Business Engineering an der Steinbeis-Hochschule Berlin und promovierte zum Doktor-Ingenieur an der Technischen Universität Dresden.

ISBN 978-3-95663-327-0



9 783956 633270

www.steinbeis-edition.de



Steinbeis-Edition