

Additive Fertigung

Technologie, Markt und Innovation

DISSERTATION
an der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg



zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften

vorgelegt von
Marco Andreas Alwin Wirth
aus
Bamberg

eingereicht bei
Prof. Dr. Frédéric Thiesse
und
Prof. Dr. Sascha Friesike

Würzburg, 2017

Danksagung

„Keine Schuld ist dringender, als die, Dank zu sagen.“

Marcus Tullius Cicero

Diese Arbeit wäre ohne Unterstützung nicht möglich gewesen. Deshalb möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen beigetragen haben.

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Frédéric Thiesse danke ich für die Überlassung des hochinteressanten Themas und die Bereitstellung des Arbeitsplatzes. Der Umgang auf Augenhöhe und die intensive wissenschaftliche Betreuung haben jede Phase dieser Arbeit bereichert. Besonders bedanken will ich mich auch für die Freiheit, die er mir während der gesamten Promotion gewährte, was maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Sascha Friesike, der sich bereit erklärt hat, das Korreferat für diese Arbeit zu übernehmen. Er stand mir nicht nur während seiner Zeit in Würzburg, sondern auch darüber hinaus, bei allen Fragen immer mit Rat zur Seite und hat diese Arbeit in vielen Belangen positiv beeinflusst.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei Prof. Dr. Christoph M. Flath. Die unkomplizierte Zusammenarbeit, die angeregten Diskussionen und die produktiven Denkanstöße haben mir sehr geholfen.

Allen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl danke ich für das angenehme Arbeitsklima und die gemeinsamen Kaffeepausen: Martina, Alexander, Maximilian, Thomas, Alexander, Jannis, Matthias, Patrick und Nikolai.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Marion und Vincenz für die Anmerkungen zur schriftlichen Ausarbeitung. Diese waren mir bei der Fertigstellung der Dissertation eine große Hilfe.

Danke sagen möchte ich auch meinen Freunden. Die zahlreichen gemeinsamen Unternehmungen und Unterhaltungen fernab des universitären Alltags haben mir gutgetan.

Auf meinem Weg habe ich viel Unterstützung durch meine Familie erfahren. Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern Anni und Klaus. Sie haben mir das Studium und die Promotion überhaupt erst ermöglicht. Durch ihre Liebe und ihr Engagement haben sie mich zu dem gemacht, der ich heute bin. Auch meinem Bruder Steffen danke ich. Er ist immer für mich da, wenn ich ihn brauche.

Für die liebevolle Unterstützung in all den Jahren danke ich meiner Freundin Kristina von Herzen. Sie stand mir stets zur Seite und hat mich immer wieder motiviert und aufgemuntert.

Zusammenfassung

Additive Fertigung – oftmals plakativ „3D-Druck“ genannt – bezeichnet eine Fertigungstechnologie, die die Herstellung physischer Gegenstände auf Basis digitaler, dreidimensionaler Modelle ermöglicht. Das grundlegende Funktionsprinzip und die Gemeinsamkeit aller additiven bzw. generativen Fertigungsverfahren ist die schichtweise Erzeugung des Objekts. Zu den wesentlichen Vorteilen der Technologie gehört die Designfreiheit, die die Integration komplexer Geometrien erlaubt.

Aufgrund der zunehmenden Verfügbarkeit kostengünstiger Geräte für den Heimgebrauch und der wachsenden Marktpräsenz von Druckdienstleistern steht die Technologie erstmals Endkunden in einer Art und Weise zur Verfügung wie es vormals, aufgrund hoher Kosten, lediglich großen Konzernen vorbehalten war. Infolgedessen ist die additive Fertigung vermehrt in den Fokus der breiten Öffentlichkeit geraten. Jedoch haben sich Wissenschaft und Forschung bisher vor allem mit Verfahrens- und Materialfragen befasst. Insbesondere Fragestellungen zu wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen haben hingegen kaum Beachtung gefunden. Aus diesem Grund untersucht die vorliegende Dissertation die vielfältigen Implikationen und Auswirkungen der Technologie.

Zunächst werden Grundlagen der Fertigungstechnologie erläutert, die für das Verständnis der Arbeit eine zentrale Rolle spielen. Neben dem elementaren Funktionsprinzip der Technologie werden relevante Begrifflichkeiten aus dem Kontext der additiven Fertigung vorgestellt und zueinander in Beziehung gesetzt.

Im weiteren Verlauf werden dann Entwicklung und Akteure der Wertschöpfungskette der additiven Fertigung skizziert. Anschließend werden diverse Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung systematisch visualisiert und erläutert. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die zu erwartenden wirtschaftlichen Potentiale, die sich aus einer Reihe technischer Charakteristika ableiten lassen. Festgehalten werden

kann, dass der Gestaltungsspielraum von Fertigungssystemen hinsichtlich Komplexität, Effizienzsteigerung und Variantenvielfalt erweitert wird. Die gewonnenen Erkenntnisse werden außerdem genutzt, um zwei Vertreter der Branche exemplarisch mithilfe von Fallstudien zu analysieren.

Eines der untersuchten Fallbeispiele ist die populäre Online-Plattform und -Community Thingiverse, die das Veröffentlichen, Teilen und Remixen einer Vielzahl von druckbaren digitalen 3D-Modellen ermöglicht. Das Remixen, ursprünglich bekannt aus der Musikwelt, wird im Zuge des Aufkommens offener Online-Plattformen heute beim Entwurf beliebiger physischer Dinge eingesetzt. Trotz der unverkennbaren Bedeutung sowohl für die Quantität als auch für die Qualität der Innovationen auf diesen Plattformen, ist über den Prozess des Remixens und die Faktoren, die diese beeinflussen, wenig bekannt. Aus diesem Grund werden die Remix-Aktivitäten der Plattform explorativ analysiert. Auf Grundlage der Ergebnisse der Untersuchung werden fünf Thesen sowie praxisbezogene Empfehlungen bzw. Implikationen formuliert. Im Vordergrund der Analyse stehen die Rolle von Remixen in Design-Communities, verschiedene Muster im Prozess des Remixens, Funktionalitäten der Plattform, die das Remixen fördern und das Profil der remixenden Nutzerschaft.

Aufgrund enttäuschter Erwartungen an den 3D-Druck im Heimgebrauch wurde dieser demokratischen Form der Produktion kaum Beachtung geschenkt. Richtet man den Fokus jedoch nicht auf die Technik, sondern die Hobbyisten selbst, lassen sich neue Einblicke in die zugrunde liegenden Innovationsprozesse gewinnen. Die Ergebnisse einer qualitativen Studie mit über 75 Designern zeigen unter anderem, dass Designer das Konzept des Remixens bereits verinnerlicht haben und dieses über die Plattform hinaus in verschiedenen Kontexten einsetzen. Ein weiterer Beitrag, der die bisherige Theorie zu Innovationsprozessen erweitert, ist die Identifikation und Beschreibung von sechs unterschiedlichen Remix-Prozessen, die sich anhand der Merkmale Fähigkeiten, Auslöser und Motivation unterscheiden lassen.

Abstract

Additive manufacturing—commonly known as “3D printing”—denotes a manufacturing technology that facilitates the production of physical objects from digital three-dimensional blueprints. Layer manufacturing is the basic principle of the production process of all additive manufactured objects. Major benefits of this technology are that it allows for the creation of very complex models and its flexibility for various design geometries.

Today, for the first time, the increasing number of 3D printing service providers and the constantly growing range of affordable printers for home use, make this technology available to consumers, whereas the high costs limited the use to large enterprises in the past. Therefore, this technology is raising more and more public attention. Presently science and research focuses primarily on questions regarding materials and processes, while ignoring or missing out the discussion about economic and social impact. Therefore, this dissertation examines and focusses on the aspect of possible implications and consequences of the technology.

The thesis starts by introducing the main aspects of the technology, to establish a common understanding, which is key for understanding the dissertation. Followed by the description of specific techniques and processes, different terminologies of additive manufacturing are introduced to describe in detail how they are related.

In the further course the additive manufacturing value chain, its development, and involved stakeholders are outlined. Subsequent diverse business models out of the additive manufacturing context are systematically visualized and elucidated. Another important aspect are expectable economic potentials that can be deduced by a number of technical characteristics. A conclusion that can be drawn is that the room to maneuver is extended with regard to complexity, efficiency enhancement, and variety of versions. Insights gained hereby are also utilized to analyze two representatives of the branch of industry by way of example.

Thereafter, the additive manufacturing value chain, its development, and involved stakeholders are outlined. Diverse business models of the additive manufacturing are depicted and explained systematically. Another important aspect is possible future economic potentials that can be deduced by several technical characteristics. The conclusion of the findings show, that there is room for growth with regard to complexity, enhancement of efficiency, and variety of versions. Furthermore, the learnings are the basis for a detailed analysis of two representatives of this industry by way of examples and case studies.

One of the cases deals with the popular online platform and community Thingiverse that offers a platform for publishing, sharing, access, and remixing a broad range of printable digital models. The term remixing—originally known from the music domain—is very often used in various emerging open online platforms to describe the phenomenon of repurposing existing materials to create something new. However, despite its obvious relevance for the number and quality of innovations on such platforms, little is known about the process of remixing and its contextual factors. For that reason, an explorative study of remixing activities on the platform was conducted and is presented. Based on the findings of these empirically observed phenomena, a set of five theoretical propositions, practical recommendations and managerial implications are formulated. Predominant in the analysis are the role of remixes in design communities, the different patterns of remixing processes, the platform features that facilitate remixes, and the profile of the remixing platform’s users.

Due to disappointed expectations regarding home use 3D printing this democratic form of production has received only little attention. However, not focusing on the technology itself but on the hobbyist users reveals new insights on underlying innovation processes. The findings of a qualitative study with more than 75 designers show amongst other findings, that designers have already internalized the concept of remixing and apply it in various contexts, even beyond the platform. An additional contribution that extends previous research on innovation processes is the identification and description of six different remix processes that can be differentiated by means of the features skill level, trigger and motivation.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Zusammenfassung	iii
Abstract	v
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xv
Quellcodeverzeichnis	xvii
Abkürzungsverzeichnis	xix
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Aufbau der Arbeit	8
2 Technologie, Anwendung und Verfahren	11
2.1 Funktionsprinzip	12
2.2 Einordnung und Begriffsbestimmung	13
2.3 Additive Fertigungsverfahren und -prozesse	15
2.3.1 Polymerisation	16
2.3.2 Pulver-Binder	17
2.3.3 Sintern und Schmelzen	17
2.3.4 Extrusion	18
2.3.5 Schicht-Laminat	20
2.3.6 Systematik additiver Fertigungsverfahren	20
2.4 Dateiformate	22
2.4.1 Standard Transformation Language (STL)	22
2.4.2 Additive Manufacturing File Format (AMF)	23
2.4.3 3D Manufacturing Format (3MF)	24
2.4.4 OpenSCAD	25

2.4.5	Gegenüberstellung	26
2.5	Historischer Abriss	28
2.6	Zwischenfazit	30
3	Marktübersicht und -entwicklung	33
3.1	Wertschöpfungskette	34
3.1.1	Hersteller	36
3.1.2	Dienstleister	41
3.1.3	Anbieter	43
3.1.4	Intermediäre	43
3.2	Geschäftsmodelle	44
3.2.1	Definition und Visualisierung	45
3.2.2	Online-Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung	46
3.2.2.1	Eigene Inhalte	47
3.2.2.2	Modellkatalog	48
3.2.2.3	Druckdienstleister	49
3.2.2.4	Servicebroker	49
3.2.2.5	Onlineshop	50
3.2.2.6	Integrierte Plattform	51
3.2.2.7	2-seitiger Markt	51
3.2.2.8	3-seitiger Markt	52
3.3	Wirtschaftliche Potentiale	53
3.3.1	Charakteristika	54
3.3.1.1	Vorteile	56
3.3.1.2	Nachteile	58
3.3.2	Potentiale	60
3.3.2.1	Komplexität	62
3.3.2.2	Effizienzsteigerung	63
3.3.2.3	Variantenvielfalt	65
3.3.3	Marktwachstum und Förderung	66
3.3.3.1	Marktvolumen	66
3.3.3.2	Förderinitiativen	67
3.4	Fallstudien	70
3.4.1	Shapeways	71
3.4.1.1	Geschäftsmodell	72
3.4.1.2	Wettbewerb	79
3.4.1.3	Deskriptive Analyse	82
3.4.1.4	Diskussion	95
3.4.2	Thingiverse	98
3.4.2.1	Geschäftsmodell	99
3.4.2.2	Wettbewerb	101
3.4.2.3	Deskriptive Analyse	102
3.4.2.4	Diskussion	112

3.5	Zwischenfazit	115
4	Explorative Untersuchung des Remixes als Form der Innovation	117
4.1	Hintergrund und Motivation	118
4.1.1	Forschungsziel und -beitrag	119
4.2	Literaturanalyse	122
4.2.1	Bedeutung: die Rolle von Rekombinationen für Innovationen	123
4.2.2	Prozess: die Mechanismen von Rekombinationen	125
4.2.3	Plattform: die Relevanz von IT für Rekombinationen	127
4.2.4	Person: persönliche und umweltbedingte Faktoren von Rekombinationen	129
4.3	Methodik	130
4.3.1	Datenerhebung und -filterung	131
4.3.2	Vorverarbeitung und Analyse	132
4.4	Ergebnisse	133
4.4.1	Bedeutung: Remixe dreidimensionaler Designs auf Thingiverse	133
4.4.2	Prozess: verschiedene Muster des Remixens	135
4.4.2.1	Konvergente Remixe	136
4.4.2.2	Divergente Remixe	139
4.4.2.3	Kategorieübergänge	140
4.4.3	Plattform: Features, die das Remixen erleichtern	143
4.4.3.1	Entdeckungspfade	143
4.4.3.2	Vom Seichten ins Tiefe: Komplexität der Remixe .	147
4.4.4	Person: die Nutzerschaft von Thingiverse	149
4.4.4.1	Nutzergruppen	150
4.4.4.2	Dynamik des Wachstums	153
4.5	Diskussion	155
4.5.1	Implikationen für die Forschung	155
4.5.2	Implikationen für die Praxis	159
4.5.3	Einschränkungen und zukünftige Forschung	161
5	Qualitative Analyse der Maker	165
5.1	Forschungsziel und -beitrag	166
5.2	Literaturanalyse	167
5.2.1	Nutzer-Innovationen	168
5.2.2	Community-Innovationen	169
5.2.3	3D-Druck im Heimgebrauch	170
5.2.4	Knowledge Reuse	173
5.2.5	Synthese der Literaturanalyse	175
5.3	Methodik	177
5.3.1	Interviews	178
5.3.1.1	Fallauswahl	180
5.3.1.2	Vorbereitung	181

5.3.1.3	Erhebung und Aufbereitung	184
5.3.1.4	Analyse	185
5.4	Ergebnisse	189
5.4.1	Bedeutung: Remixen als zentrales Konzept	189
5.4.2	Prozess: Fähigkeiten – Auslöser – Motivation	191
5.4.2.1	Fähigkeiten eines Designers	191
5.4.2.2	Auslöser eines Remix-Prozesses	191
5.4.2.3	Motivation des Designers	193
5.4.2.4	Remix-Prozesse	194
5.4.3	Plattform: Metadaten als Anhaltspunkt	206
5.4.4	Person: Freies Wissen aus Überzeugung	209
5.5	Diskussion	211
5.5.1	Implikationen für die Forschung	211
5.5.1.1	Entscheidungskriterien	211
5.5.1.2	Remix-Prozesse	212
5.5.2	Implikationen für die Praxis	215
5.5.3	Einschränkungen und zukünftige Forschung	217
6	Fazit und Ausblick	219
6.1	Ergebnisse der Arbeit	219
6.2	Limitationen und weiterer Forschungsbedarf	222
	Literaturverzeichnis	227
	Anhang	275
A.1	Credits	275
A.2	Lizenzinformationen	278
	Curriculum Vitae	279

Abbildungsverzeichnis

1.1	Profil der Wirtschaftsinformatik (Mertens et al., 2012).	8
1.2	Aufbau der Dissertation.	9
2.1	Funktionsprinzip additiver Fertigungsverfahren (Gebhardt, 2007, 2014).	12
2.2	Einordnung und Abgrenzung der Kernbegriffe.	13
2.3	Klassifizierung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580:2003-09 (Berger et al., 2013).	15
2.4	Fertigungsprozess der Stereolithographie (Michel, 2014).	16
2.5	Fertigungsprozess des selektiven Lasersinterns (Michel, 2014).	18
2.6	Fertigungsprozess der Schmelzschichtung (Michel, 2014).	19
2.7	Modell einer Kugel vor und nach der Triangulation.	22
2.8	Mithilfe der Windows Applikation „3D Builder“ können 3MF-Dateien bearbeitet werden.	25
2.9	Modell eines Quaders mit ausgeschnittener Kugel in OpenSCAD.	26
3.1	Wertschöpfungskette der additiven Fertigung.	36
3.2	Marktanteile der Hersteller in den Bereichen industrielle Fertigungsanlagen und Desktop-3D-Drucker.	37
3.3	Anzahl verkaufter Desktop-3D-Drucker im Zeitraum 2007–2015 (Wohlert et al., 2016).	38
3.4	Hype-Zyklus der additiven Fertigung (Rivera und Van der Meulen, 2015).	39
3.5	Matrix zur Kategorisierung von Anbietern dreidimensionaler Modelle.	43
3.6	Die vier Dimensionen eines Geschäftsmodells im „magischen Dreieck“ (Gassmann et al., 2013).	45
3.7	Geschäftsmodelltyp: Eigene Inhalte.	47
3.8	Geschäftsmodelltyp: Modellkatalog.	48
3.9	Geschäftsmodelltyp: Druckdienstleister.	49
3.10	Geschäftsmodelltyp: Servicebroker.	50
3.11	Geschäftsmodelltyp: Onlineshop.	51
3.12	Geschäftsmodelltyp: Integrierte Plattform.	51
3.13	Geschäftsmodelltyp: 2-seitiger Markt.	52
3.14	Geschäftsmodelltyp: 3-seitiger Markt.	53

3.15	Gestaltungsspielraum von Fertigungssystemen und Auswirkungen der additiven Fertigungstechnologie.	61
3.16	Beispiele für Objekte mit angepasster, hoch komplexer Geometrie.	63
3.17	Beispiele für Objekte, die effizient und flexibel gefertigt werden.	64
3.18	Beispiele für neuartige, individualisierte Produkte.	65
3.19	Globales Marktvolumen der additiven Fertigung (Wohlers et al., 2016, 2017).	67
3.20	Projektstruktur des Sonderforschungsbereichs 814 (SFB-814, 2016).	68
3.21	Shapeways-Logo.	71
3.22	Shapeways Geschäftsmodell: 2-seitiger Markt.	73
3.23	Shapeways-Shop „LucasPlus“ des Designers Lucas Goossens (Shapeways, 2016c).	75
3.24	Preisgestaltung: $base\ price + markup = total\ price$ (Shapeways, 2016d).	75
3.25	Shapeways Bestellprozess am Beispiel des Modells „Mobius Nautilus“ von Joaquin Baldwin aus der Kategorie „Art: Mathematical Art“.	77
3.26	Shapeways als Druckdienstleister (Shapeways, 2016a).	78
3.27	Kreativität als Teil der Selbstverwirklichung in der Maslowschen Bedürfnishierarchie (Scheffer und Heckhausen, 2010; Myers, 2014).	80
3.28	3D-Hubs-Logo.	81
3.29	Screenshot einer Shapeways-Produktseite mit Annotation der beim Crawling erfassten Informationen.	84
3.30	Anzahl der zum Verkauf angebotenen Produkte je Kategorie.	87
3.31	Produkte der Kategorie „Miniatures“.	88
3.32	Produkte der Kategorie „Games“.	88
3.33	Anzahl an Produkten, durchschnittlicher Preis, Favoriten und Tags je Kategorie.	89
3.34	Verteilung der Größe der Shops.	90
3.35	Preisverteilung der zum Verkauf angebotenen Produkte.	91
3.36	Boxplot zur Preisverteilung je Kategorie.	92
3.37	Verteilung der Preise in Abhängigkeit des Volumens je Kategorie.	93
3.38	Shapeways: Tag Cloud.	94
3.39	Thingiverse-Logo.	98
3.40	Wachstum der Plattform Thingiverse im zeitlichen Verlauf.	99
3.41	Thingiverse Geschäftsmodell: Modellkatalog.	100
3.42	Screenshot einer Thingiverse-Detailseite mit Annotation der beim Crawling erfassten Informationen.	104
3.43	Anzahl an Things, durchschnittliche Downloads und Aufrufe je Kategorie.	109
3.44	Things der Kategorie „Art“.	110
3.45	Things der Kategorie „Models“.	110
3.46	Verteilung der Anzahl der Things eines Designers.	111
3.47	Thingiverse: Tag Cloud.	112

4.1	Lebensmittel-Remixe und deren Bausteine (Tidhar, 2014).	120
4.2	Prinzip der Offenlegung der Quellen in Innovationsprozessen durch den Einsatz offener Lizenzen.	121
4.3	Konzept der Remix-Beziehungen und Generationen.	132
4.4	Bedeutung von Remixen: (i) Anzahl, (ii) Downloads und (iii) Makes je Generation (Things mit einer Generation > 8 wurden vernachlässigt).	135
4.5	Stammbaum aller Things der Kategorie „3D Printing“, die in einer Remix-Beziehung stehen.	136
4.6	Stammbaum aller Things der Kategorie „Fashion“, die in einer Remix-Beziehung stehen.	137
4.7	Fusion zweier zuvor unabhängiger Things zu einem Remix am Beispiel einer „Debattier-Münze“.	138
4.8	Aufspaltung eines Things zu mehreren verschiedenen, neuen Remixen am Beispiel eines Flaschenöffners.	139
4.9	Kreisdiagramm der Kategorieübergänge mit dem Beispiel „Haifisch-Organizer“.	142
4.10	Remix-Komplexitätsmatrix.	148
4.11	Nutzersegmente nach R- und C-R-Anteil.	151
4.12	Taxonomie der Nutzerbasis von Thingiverse.	152
4.13	Wöchentliches Wachstum der Thingiverse-Nutzerbasis.	153
5.1	Voraussetzungen des 3D-Drucks im Haushalt: Design, Software, Additive Fertigung.	172
5.2	Kontext der Untersuchung aus der Synthese der Literaturanalyse.	175
5.3	Herkunftsland der interviewten Designer.	187
5.4	Selbstcharakterisierung der Designer: „Ich bin ein...“.	188
5.5	Hierarchische Übersicht der Codes.	189
5.6	Dependenz der Designer in Abhängigkeit der eigenen Fähigkeiten.	189
5.7	Übersicht typischer Remix-Prozesse.	192
5.8	Remix-Prozess: Spaß.	196
5.9	Remix-Prozess: Fortschritt.	198
5.10	Remix-Prozess: Inspiration.	200
5.11	Remix-Prozess: Voraussetzung.	202
5.12	Remix-Prozess: Effizienz.	204
5.13	Remix-Prozess: Lernen.	206
5.14	Angaben zur verwendeten CAD-Software.	209

Tabellenverzeichnis

1.1	Framework zur Analyse aufstrebender Industrien (Phaal et al., 2011).	5
1.2	Potentielle Forschungsfragen in Bezug auf den Wertkontext der additiven Fertigungstechnologie (Ford et al., 2016).	6
1.3	Potentielle Forschungsfragen in Zusammenhang mit der Wertschöpfung der additiven Fertigungstechnologie (Ford et al., 2016).	6
1.4	Potentielle Forschungsfragen in Zusammenhang mit der Wertgenerierung der additiven Fertigungstechnologie (Ford et al., 2016).	6
2.1	Gegenüberstellung der fünf grundlegenden Verfahren zur additiven Fertigung (Breuninger, 2013; Gebhardt, 2014).	21
2.2	Gegenüberstellung der Dateiformate STL, 3MF und AMF.	27
2.3	Historischer Überblick zur Entwicklung der additiven Fertigung (Hull, 1986; Crump, 1992; Sachs et al., 1993; Van West, 2011; Wohlers und Caffrey, 2013b, 2014, 2015; Vallés, 2014; Echevarria, 2015; Müller und Karevska, 2016; Wohlers et al., 2016, 2017).	29
3.1	Übersicht bedeutender 3D-Druck-Dienstleister (Shapeways, 2016b; i.materialise, 2016; Kraftwurx, 2016; Sculpteo, 2016).	42
3.2	Typologie möglicher Geschäftsmodelltypen.	47
3.3	Konzeptmatrix zu Charakteristika der additiven Fertigung in der Literatur.	54
3.4	Übersicht synonym verwendeter Charakteristika.	55
3.5	3D-Modell einer Kugel und ihre fertigungsrelevanten Eigenschaften.	78
3.6	Preisübersicht ausgewählter Materialien für eine Kugel in der Größe eines Golfballs.	79
3.7	Übersicht der erfassten Informationen des Shapeways-Datensatzes.	86
3.8	Charakteristiken der bei Shapeways geführten Produkte ($N = 276.890$).	86
3.9	Shapeways: Top Tags.	94
3.10	Top Ten der meistverkauften Produkte im Jahr 2015 (Muzumdar, 2015).	96
3.11	Konkurrierende Plattformen.	101
3.12	Übersicht der erfassten Informationen des Thingiverse-Datensatzes.	108
3.13	Charakteristiken der bei Thingiverse geführten Things ($N = 213.096$).	108

3.14	Thingiverse: Top Tags.	112
3.15	Top Ten der am häufigsten hergestellten Things.	113
4.1	Literaturanalyse zur Wiederverwendung und Rekombination von Wissen.	124
4.2	Charakteristiken der bei Thingiverse geführten Remixe ($N = 116.659$).	134
4.3	Konvergente Remix-Muster ($x, y \in$ Menge von Things \mathbb{T} ; P_x : Menge der Eltern von Thing x ; P_x^2 : Menge der Großeltern von Thing x).	138
4.4	Divergente Remix-Muster ($x \in$ Menge von Things \mathbb{T} ; $c \in$ Menge der Customizer \mathbb{C} ; C_x : Menge der Kinder von Thing x ; P_c : Menge von Eltern von Customizer c).	140
4.5	Matrix der induzierten Kategorieübergänge.	141
4.6	Regression zu Entdeckungspfaden (abhängige Variable: „Thing wurde remixt“).	145
4.7	Top Ten der Designer mit den häufigsten Aufrufen.	150
4.8	Regression zur Dynamik der Nutzerpopulation (abhängige Variable: „Neue Designer pro Woche“).	154
5.1	Quantitativer und qualitativer Forschungsansatz im Vergleich (Neuman, 2014).	177
5.2	Die sechs wichtigsten Klassifikationskriterien für wissenschaftliche Interviews (Döring und Bortz, 2016).	179
5.3	Interview-Leitfaden unterteilt nach Themenblöcken.	182
5.4	Demografische Merkmale der interviewten Designer ($N = 78$).	186
5.5	Thingiverse-spezifische Merkmale der interviewten Designer ($N = 78$).	186
5.6	Repräsentative Zitate zur Bedeutung des Remix-Konzeptes.	190
5.7	Repräsentative Zitate zum Merkmal „Fähigkeiten“.	193
5.8	Repräsentative Zitate zum Merkmal „Auslöser“.	194
5.9	Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Spaß“.	195
5.10	Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Fortschritt“.	197
5.11	Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Inspiration“.	199
5.12	Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Voraussetzung“.	200
5.13	Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Effizienz“.	202
5.14	Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Lernen“.	204
5.15	Repräsentative Zitate zu den Metadaten eigener Modelle.	207
5.16	Repräsentative Zitate zu den Metadaten fremder Modelle.	207
5.17	Repräsentative Zitate zur Nutzung des Customizers.	208
5.18	Repräsentative Zitate zum Merkmal „freier Austausch von Wissen“.	210

Quellcodeverzeichnis

2.1	Definition eines Dreiecks mit Normalenvektor und Koordinaten der Dreieckspunkte im STL-ASCII-Format.	23
2.2	Erzeugung und Modifikation geometrischer Körper mithilfe der freien, textbasierten Modellierungssprache OpenSCAD	26
3.1	Ausschnitt aus dem HTML-Code einer Produktwebseite.	82

Abkürzungsverzeichnis

3DP	3D-Druck
3DPL	3D Printing License
3MF	3D Manufacturing Format
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
AM	Additive Manufacturing
AMF	Additive Manufacturing File Format
API	Application Programming Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BIC	Bayessches Informationskriterium
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMC	Business Model Canvas
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CBPP	Commons-based Peer Production
CC	Creative Commons
CEO	Chief Executive Officer
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIY	Do-it-yourself
EU	Europäische Union

FDM	Fused Deposition Modeling
FEM	Finite-Elemente-Methode
FFF	Fused Filament Fabrication
FLM	Fused Layer Modeling
FP	Forschungsrahmenprogramm
FSP	Full-Service-Provider
HGZ	Hochgeschwindigkeitszerspanung
HTML	Hypertext Markup Language
IS	Informationssysteme
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnologie
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JS	JavaScript
KET	Key Enabling Technology
KRC	Knowledge Reuse for Customization
KRI	Knowledge Reuse for Innovation
KRR	Knowledge Reuse for Replication
LLM	Layer Laminat Manufacturing
LOM	Laminated Object Manufacturing
MC	Mass Customization
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OSS	Open-Source-Software
PI	Polyimide
PNG	Portable Network Graphics
QDAS	Qualitative Data Analysis Software
RM	Rapid Manufacturing

RP	Rapid Prototyping
RT	Rapid Tooling
SL	Stereolithographie
SLM	Selektives Laserschmelzen
SLS	Selektives Lasersintern
STL	Standard Transformation Language
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
TTM	Time to Market
URL	Uniform Resource Locator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
XPath	XML Path Language

1

Einleitung und Motivation

„If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants.“

Isaac Newton

Additive Fertigung – besser bekannt unter dem generischen Begriff *3D-Druck* – bezeichnet eine Fertigungstechnologie. Der elementare Unterschied zu bekannten, etablierten Verfahren, wie beispielsweise dem Bohren, Drehen oder Fräsen, ist die Art und Weise, in der das zu fertigende Objekt entsteht: Bei den traditionellen, subtraktiven Verfahren wird Material entfernt, bei den additiven hingegen hinzugefügt. Diese generative, schichtweise Erzeugung realer, physischer Objekte auf Basis digitaler, dreidimensionaler Modelle stellt das grundlegende Funktionsprinzip und die Gemeinsamkeit aller additiven Fertigungsverfahren dar (Gebhardt, 2007). Zu den wesentlichen Vorteilen der Technologie gehört die Designfreiheit, die die Integration komplexer Geometrien erlaubt.

Die Technologie existiert bereits seit mehr als drei Jahrzehnten und wird im professionellen, industriellen Kontext vorrangig zur Herstellung von Prototypen eingesetzt. Der technologische Fortschritt, sinkende Preise und nicht zuletzt das Auslaufen des Patents für ein simples additives Verfahren haben dazu geführt, dass der 3D-Druck vermehrt Aufmerksamkeit erhalten hat. Aufgrund starker Wachstumsraten und einer Reihe von Charakteristika, allen voran der Möglichkeit Einzelstücke wirtschaftlich zu

fertigen, wurde der Technologie das Potential zugesprochen, die nächste industrielle Revolution loszutreten (Anderson, 2012; Berman, 2012; Markillie, 2012).

In den Fokus der breiten Öffentlichkeit ist die additive Fertigung auch durch den ehemaligen US-Präsidenten Barack Obama geraten. In seiner Rede zur Lage der Nation im Februar 2013 bescheinigte er dem 3D-Druck das Potential die Fertigung nachhaltig revolutionieren zu können (Obama, 2013). Zu zweifelhaftem Ruhm gelangte die Technologie nur wenig später, als ein amerikanischer Student eine funktionsfähige Schusswaffe ausdrückte und die Baupläne für den sogenannten „Liberator“ frei zugänglich im Internet veröffentlichte (Biggs, 2013; Hutchinson, 2013; Greenberg, 2013; Lee, 2013).

Auf den regelrechten Hype und die damit verbundenen enormen Erwartungen an die Technologie folgte eine tiefe Enttäuschung, die sich auch im Kursverlauf verschiedener Unternehmen der Branche widerspiegelt. Infolgedessen wurde die zuvor angekündigte industrielle Revolution „verschoben“ (Kühl, 2014; Holweg, 2015; Schlosser, 2016) oder gänzlich „abgeblasen“ (Kerkmann, 2013; Brandon, 2016; Dilawar, 2016).

Ungeachtet der Tatsache, dass die Technologie die traditionelle Fertigung nicht vollends ersetzen wird, hat der Markt im Jahr 2016 bereits ein Volumen von mehr als 5,5 Milliarden Euro erreicht. Zweistellige Wachstumsraten in den vergangenen Jahren haben zudem zu optimistischen Prognosen geführt. Analysten prognostizieren der Industrie für das Jahr 2022 ein globales Marktvolumen von 23,8 Milliarden Euro (Wohlers et al., 2017). Auch die Europäische Union (EU) hat die Aktualität und Bedeutung für die Industrie erkannt und die additive Fertigung zur „Key Enabling Technology (KET)“ erklärt. Die involvierten Experten gehen davon aus, dass die Technologie eine Schlüsselrolle – sowohl in Bezug auf die Industrieführerschaft als auch auf den gesellschaftlichen Wandel – einnehmen wird (Vallés, 2014; Duchêne et al., 2016).

Neben dem produktiven Einsatz im industriellen Kontext ist der 3D-Druck auch beim Endkunden angekommen. Die Zahl der verkauften Desktop-3D-Drucker für den Heimgebrauch stieg von lediglich 355 Geräten in 2008 auf über 278.000 im Jahr 2015 (Wohlers et al., 2016). Die Hobbyisten, die selbst eigene 3D-Drucker besitzen und ihre Designs online offen teilen, sind Teil der sogenannten „Makerbewegung“ (Anderson, 2012; Dougherty, 2012; Gershenfeld, 2012; Richardson, 2012; Buxmann und Hinz, 2013; Tanenbaum et al., 2013). Elementarer Bestandteil dieses Ökosystems

ist die Plattform und Community Thingiverse, die im Oktober 2015 über eine Million Modelle vorweisen konnte, die insgesamt über 200 Millionen Mal heruntergeladen wurden (Echevarria, 2015).

1.1 Problemstellung

Trotz der vielfältigen Fragestellungen, die sich aus dem Wachstum, der Berichterstattung und den unterschiedlichen Anwendungsszenarien in Industrie und Haushalt ergeben, hat sich die Wissenschaft und Forschung bisher vor allem mit Verfahrens- und Materialfragen befasst (Gausemeier et al., 2013; Guo und Leu, 2013; Li et al., 2016). Insbesondere Fragestellungen zu wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen haben kaum Beachtung gefunden (Thiesse et al., 2015; Baumers et al., 2016; Ford et al., 2016; Luchs et al., 2016; Jiang et al., 2017).

Ein Problem, das einer umfangreichen, systematischen Betrachtung im Wege steht, ist die Fülle der Begrifflichkeiten aus dem Kontext der additiven Fertigung. Erschwerend hinzu kommt, dass im Zuge des gesteigerten öffentlichen Interesses zahlreiche Begriffe des Themenkomplexes teils synonym verwendet werden. So wird der Großteil der an sich verschiedenartigen Verfahrensfamilien oftmals schlicht unter dem plakativen Begriff „3D-Druck“ zusammengefasst (Campbell et al., 2012; Ford et al., 2016).

Bei der additiven Fertigung handelt es sich um eine aufstrebende Industrie. Hierzu zählen Industriezweige oder Branchen, die normalerweise durch technologische Innovationen hervorgerufen werden. Neben einer Technologie können jedoch auch ökonomische, ökologische oder soziologische Veränderungen, die neue Produkte und Dienstleistungen ermöglichen, Auslöser für die Entstehung und das Hervortreten sein (Porter, 1980). Die unterschiedlichen Aspekte, die bei der Analyse eines neuen Industriezweigs berücksichtigt werden müssen, sind vielfältig. Phaal et al. (2011) stellen deshalb ein Framework zur Verfügung, das genutzt werden kann, um aufstrebende Industrien bzw. wachsenden Branchen abzubilden, zu analysieren und zu verstehen. Um die zugrunde liegende Thematik ganzheitlich zu erfassen, werden drei Themenkomplexen bzw. Kategorien herangezogen:

- *Wertkontext*

Die Umgebung bestimmt den Rahmen bzw. den Kontext, in dem die Möglichkeit besteht, Wert zu schöpfen und zu generieren. Hierzu zählen beispielsweise

aktuelle Markttrends, politische Tendenzen oder auch Kundenbedürfnisse. Die unterschiedlichen Faktoren des Wertkontexts treiben die Evolution der aufstrebenden Branche an.

- *Wertschöpfung*

Unternehmen nutzen verschiedenste Mechanismen und Prozesse, um Wert zu schöpfen. Hierunter fallen, neben den Geschäftsmodellen und Strategien, auch die eigentlichen Produkte und Dienstleistungen eines Unternehmens. Die unterschiedlichen Aspekte der Wertschöpfung werden sowohl von der Nachfrage am Markt als auch der Dynamik des Angebots beeinflusst.

- *Wertgenerierung*

Kompetenzen und Möglichkeiten werden genutzt, um neue Werte zu generieren. Forschung und Entwicklung, aber auch die zur Verfügung stehenden Ressourcen, beeinflussen die Wertgenerierung dabei maßgeblich. Die verschiedenen Thematiken rund um die Wertgenerierung haben einen Einfluss darauf, wie sich die jeweilige Industrie entwickelt.

Den drei Kategorien Wertkontext, Wertschöpfung und Wertgenerierung können wiederum Unterkategorien zugeordnet werden. Auf diese Weise ergibt sich eine hierarchische Taxonomie. Das Framework aus Kategorien und Unterkategorien ist in Tabelle 1.1 dargestellt.

Um die vielfältigen Implikationen und Auswirkungen der additiven Fertigungstechnologie auf Wirtschaft und Gesellschaft zu untersuchen, ziehen Ford et al. (2016) das zuvor beschriebene Framework von Phaal et al. (2011) heran. Auf diese Weise ist es möglich, Forschungslücken zu identifizieren und potentielle Forschungsfragen abzuleiten.

Im Hinblick auf den *Wertkontext* der additiven Fertigungstechnologie stellt sich die Frage nach neuen Trends am Markt (vgl. Tabelle 1.2). Von Interesse ist beispielsweise, welche Auswirkungen die Technologie nach sich zieht, auch in Bezug auf bestehende Fragestellungen und Probleme in anderen Bereichen. Ebenso werden politische Handlungsmöglichkeiten und Fragen rund um Regulierung und Standards der Kategorie zugeordnet. Nicht zuletzt die Kunden sind ein entscheidender Faktor im Wertkontext, weshalb auch diesen Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Potentielle Fragestellungen in Bezug auf die *Wertschöpfung* nehmen eine zentrale Rolle im Framework ein (vgl. Tabelle 1.3). Neben der Frage nach erfolgreichen

Tabelle 1.1: Framework zur Analyse aufstrebender Industrien (Phaal et al., 2011).

Kategorie	Unterkategorie
Wertkontext	Markttrends und Treiber
	Politik
	Regulierung und Standards
	Dynamik und Wettbewerb
	Kunden
Wertschöpfung	Geschäftsmodelle und Strategien
	Produkte und Dienstleistungen
	Service
	Verkauf und Marketing
	Vertrieb
Wertgenerierung	Operativer Betrieb
	Liefernetzwerk
	Design
	Forschung und Entwicklung
	Management
	Beziehungen
	Ressourcen

Geschäftsmodellen und Strategien stehen hier neue Produkte und Dienstleistungen im Mittelpunkt. Bei der Beurteilung der Industrie spielen darüber hinaus auch die Vorstellungen und Erwartungen der Kunden eine entscheidende Rolle. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Technologie in den Hype-Zyklus einzuordnen. Einen entscheidenden Beitrag zur Wertschöpfung leisten Online-Plattformen und -Communities, weshalb auf diese ein besonderes Augenmerk gelegt werden muss.

Die *Wertgenerierung* basiert auf den Kompetenzen, die benötigt werden, um Werte zu generieren (vgl. Tabelle 1.4). Insbesondere bei der additiven Fertigung ist die Frage nach neuen Designprinzipien berechtigt. Relevant für Forschung und Entwicklung sind die technischen Charakteristika der Technologie. Diese stellen außerdem die Basis für eine objektive Auseinandersetzung mit möglichen Anwendungsfeldern dar.

Ein Hauptproblem bei der Beurteilung der Technologie in der Berichterstattung besteht in der undifferenzierten Betrachtung und Bewertung des 3D-Drucks in Haushalten. Vielfach wurden von Hobbyisten eingesetzte, simple *Desktop-3D-Drucker* und *industrielle additive Fertigungssysteme*, wie sie in Unternehmen zum Einsatz

Tabelle 1.2: Potentielle Forschungsfragen in Bezug auf den Wertkontext der additiven Fertigungstechnologie (Ford et al., 2016).

Unterkategorie	Potentielle Forschungsfrage
Markttrends und Treiber	Wie beeinflusst das Aufkommen der Fertigungstechnologie andere politische, ökonomische, soziale, technologische, gesetzliche und ökologische Fragestellungen?
Regulierung und Standards	Wie können Standards in einer verteilten additiven Landschaft definiert und anschließend aufrechterhalten werden? Wie gelingt der Übergang zu neuen Dateiformaten?
Dynamik und Wettbewerb	Wer sind die Akteure im Ökosystem der additiven Fertigung, und wie und wodurch generieren diese Wert? Inwiefern handelt es sich bei der additiven Fertigung um eine disruptive Technologie?
Kunden	Wie kann die Technologie genutzt werden, um den Kunden in den Fertigungsprozess mit einzubeziehen? Was sind die Charakteristiken von Prosumern, und wie nutzen diese additive Verfahren?

Tabelle 1.3: Potentielle Forschungsfragen in Zusammenhang mit der Wertschöpfung der additiven Fertigungstechnologie (Ford et al., 2016).

Unterkategorie	Potentielle Forschungsfrage
Geschäftsmodelle und Strategien	Welche Geschäftsmodelle werden im Kontext der additiven Fertigung herangezogen und welche erweisen sich als Erfolg versprechend? Inwiefern ermöglicht die additive Fertigung Produkt-Dienstleistungs-Geschäftsmodelle? Unter welchen Umständen verringert die Technologie Markteintrittsbarrieren?
Produkte und Dienstleistungen	Welche neuen Produkte und Dienstleistungen werden in welchen Anwendungsfeldern ermöglicht? Welche Rolle spielt die Möglichkeit der Individualisierung?
Verkauf und Marketing	Welche Vorstellungen haben Kunden von der Technologie, und wie verändern sich diese im Laufe der Zeit? Wo im Hype-Zyklus befindet sich die Technologie?
Vertrieb	Wie entwickeln sich Online-Plattformen und -Communities?

Tabelle 1.4: Potentielle Forschungsfragen in Zusammenhang mit der Wertgenerierung der additiven Fertigungstechnologie (Ford et al., 2016).

Unterkategorie	Potentielle Forschungsfrage
Design	Was ist unter Design für die additive Fertigung zu verstehen und wie kann dieses in andere Designprinzipien integriert werden? Welche Anwendungsfelder profitieren von der Designfreiheit und warum? Wie verändert sich die Einstellung der Designer?
Beziehungen	Welche Auswirkungen hat das Aufkommen der Technologie auf die Beziehungen in industriellen Ökosystemen?
Ressourcen	Welche Fähigkeiten werden benötigt, um die Verfahren effektiv zu nutzen, und wie werden diese erlangt?

kommen, in den Medien gleichgesetzt. In Wirklichkeit handelt es sich jedoch um zwei elementar unterschiedliche Klassen, die separat betrachtet werden müssen. Aktuelle Veröffentlichungen zeigen, dass der 3D-Druck in Haushalten relevant ist (Oehlberg et al., 2015; Fordyce et al., 2016; Stanko, 2016; West und Kuk, 2016; Kyriakou et al., 2017). Entscheidend ist hierbei der Fokus der Forschung: Nicht die Fertigungstechnologie steht im Zentrum der Studien, sondern die Einblicke, die diese Art der Produktion ermöglicht. Eine große Anzahl der Hobbyisten veröffentlicht und teilt ihre Modelle innerhalb von Online-Plattformen. Erstaunlich ist die Tatsache, dass viele Nutzer eigene Designs kennzeichnen und angeben, dass ihre Ideen auf den Ideen anderer Designer basieren. Dieses Konzept der *Innovation durch Rekombination* lässt sich auf Schumpeter (1942) zurückführen, der argumentiert, dass jede Innovation im Wesentlichen eine Kombination bestehender Faktoren ist. Zu erkennen und zu verstehen, wie solche Kombinationen zu neuen Erkenntnissen und Ideen führen, gilt seitdem als „der ‚Heilige Gral‘ der Innovationsforschung“ (Gruber et al., 2013, S. 837). Plattformen bzw. IT-Artefakte besitzen großes Potential, Nutzer während dieses Innovationsprozesses zu unterstützen (Markus, 2001; Huysman und Wulf, 2006; Aragon et al., 2009; Müller-Wienbergen et al., 2011). Dennoch existiert bis heute nur wenig Forschung zu Informationssystemen als Treiber der Wiederverwendung von Wissen (Couger et al., 1993; Alavi und Leidner, 2001; Sambamurthy und Subramani, 2005; Mitchell und Subramani, 2010). Neben den Informationssystemen wurden auch die Designer, die den Desktop-3D-Druck durch die Veröffentlichung ihrer Modelle tragen und vorantreiben, bei der Analyse bisher weitestgehend vernachlässigt (Troxler, 2010). Dies steht in scharfem Kontrast zum offenkundigen Potential, das eine Untersuchung der Innovationsprozesse der Hobbyisten bietet.

Informationstechnologie (IT) und Informationssysteme (IS) sind elementarer und unverzichtbarer Bestandteil der additiven Fertigung: angefangen beim dreidimensionalen Modell, das mithilfe einer Modellierungssoftware designt wird, bis hin zur rechnergestützten numerischen Steuerung der Anlagensysteme während des eigentlichen Fertigungsprozesses. Aufgrund dessen ist die *Wirtschaftsinformatik* in besonderem Maße geeignet, sich mit der beschriebenen Problemstellung auseinanderzusetzen. Sie kann als interdisziplinäres Fach beschrieben werden, das nicht von einer einzelnen Theorie, Methode oder Perspektive dominiert wird, und lässt sich als Real-, Formal-, und Ingenieurwissenschaft klassifizieren (Laudon et al., 2010). Ihr Profil bewegt sich zwischen Wirtschaftswissenschaften und Informatik und enthält

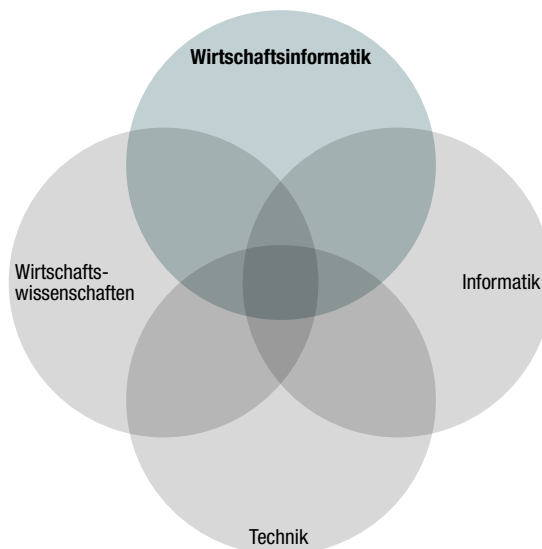


Abbildung 1.1: Profil der Wirtschaftsinformatik (Mertens et al., 2012).

gleichzeitig Überschneidungen mit allgemein-technischen Disziplinen (Mertens et al., 2012). Wie aus Abbildung 1.1 hervorgeht, ist die Wirtschaftsinformatik jedoch keinesfalls auf die zuvor genannten Felder beschränkt, sondern stellt ein eigenes Fachgebiet dar.

1.2 Aufbau der Arbeit

Das vorliegende, einführende Kapitel 1 geht neben der allgemeinen Motivation auf die vorliegende Problemstellung und den Forschungsbeitrag der Arbeit ein und stellt den Aufbau der Dissertation vor. Dieser ist in Abbildung 1.2 grafisch veranschaulicht.

Kapitel 2 vermittelt Grundlagen der additiven Fertigung, die für das Verständnis der Arbeit eine zentrale Rolle spielen. Neben dem elementaren Funktionsprinzip der Technologie werden relevante Begrifflichkeiten vorgestellt und zueinander in Beziehung gesetzt. Außerdem werden verschiedene additive Fertigungsverfahren erläutert, grafisch veranschaulicht und systematisch miteinander verglichen. Der historische Abriss zum Ende des Kapitels gibt einen Überblick über die Entwicklung der additiven Fertigung im Verlauf der Jahre und fasst aktuelle Trends zusammen.



Abbildung 1.2: Aufbau der Dissertation.

In Kapitel 3 werden wirtschaftliche Auswirkungen der aufstrebenden Technologie untersucht und auf Fragestellungen zu Wertkontext, -schöpfung und -generierung eingegangen. Zu diesem Zweck werden zunächst die Wertschöpfungskette der additiven Fertigung, deren Entwicklung und involvierte Akteure skizziert. Anschließend werden Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung systematisch visualisiert und erläutert. Mithilfe der bestehenden Literatur werden sieben Charakteristika der Fertigungstechnologie identifiziert und wirtschaftliche Potentiale abgeleitet. Die gewonnenen Erkenntnisse werden genutzt, um Auswirkungen der additiven Technologie auf den Gestaltungsspielraum von Fertigungssystemen abzuleiten und um zwei Vertreter der Branche exemplarisch mithilfe von Fallstudien zu analysieren.

Eines der untersuchten Fallbeispiele – die populäre Online-Plattform und -Community Thingiverse – ermöglicht das Veröffentlichen, Teilen und Wiederverwenden einer Vielzahl von druckbaren digitalen 3D-Modellen. Im kreativen bzw. gestalterischen Umfeld ist diese Wiederverwendung von Informationen und Wissen gängige Praxis und als *Remixen* bekannt. Im Zuge des Aufkommens offener Online-Plattformen

wird das Konzept heute beim Entwurf beliebiger physischer Dinge eingesetzt. Trotz der unverkennbaren Bedeutung, sowohl für die Quantität als auch für die Qualität der Innovationen auf diesen Plattformen, ist über den Prozess des Remixens und Faktoren, die diesen beeinflussen, nur wenig bekannt. Kapitel 4 setzt sich deshalb intensiv mit dem Phänomen auseinander und analysiert die Remix-Aktivitäten der Plattform explorativ. Auf Grundlage der Ergebnisse der Untersuchung werden fünf Thesen sowie praxisbezogene Empfehlungen bzw. theoretische Implikationen formuliert. Im Vordergrund der Analyse stehen die Rolle von Remixen in Design-Communities, verschiedene Muster im Prozess des Remixens, Funktionalitäten der Plattform, die das Remixen fördern, und das Profil der remixenden Nutzerschaft.

Kapitel 5 widmet sich den Personen, die den Desktop-3D-Druck tragen und vorantreiben: Designer, die ihre Modelle unter offenen Lizenzen zur Verfügung stellen. Aufgrund enttäuschter Erwartungen an den 3D-Druck im Heimgebrauch wurde dieser Aspekt als spekulative Zukunftsvision abgetan und bisher kaum beachtet. Richtet man den Fokus jedoch nicht auf die Technik, sondern die Hobbyisten selbst, eröffnen sich neue Einblicke in die zugrunde liegenden Innovationsprozesse. Die Ergebnisse einer qualitativen Studie mit 78 Designern zeigen unter anderem, dass Designer das Konzept des Remixens bereits bewusst nutzen oder gar verinnerlicht haben und dieses über die Plattform hinaus in verschiedenen Kontexten einsetzen. Ein weiterer Beitrag, der die bisherige Theorie zu Innovationsprozessen erweitert, ist die Identifikation und Beschreibung von sechs unterschiedlichen Remix-Prozessen, die sich anhand der Merkmale Fähigkeiten, Auslöser und Motivation unterscheiden lassen.

Kapitel 6 fasst alle gewonnenen Erkenntnisse der Arbeit zusammen. Neben den theoretischen und praktischen Implikationen wird auch auf eine mögliche Weiterentwicklung und Nutzung der Ergebnisse in zukünftiger Forschung eingegangen.

2

Technologie, Anwendung und Verfahren

„Once in a generation a new technology comes along that has the potential to transform just about everything—think printing press, steam engine, telegraph, and now 3D printing.“

Jim Kohlenberger

Teil der Ariadne-Kolumne der populärwissenschaftlichen, englischsprachigen Fachzeitschrift „New Scientist“ ist der fiktive Erfinder Daedalus und seine Erfindungen. Diese sind in aller Regel zwar plausibel, jedoch äußerst realitätsfern (Jones, 2000). In der Kolumne der Oktoberausgabe des Jahres 1974 wird eine neuartige Fertigungstechnologie beschrieben, die das Potential besitzen soll, die industrielle Fertigung branchenübergreifend zu revolutionieren. Das Verfahren, das scherzhaft als „heitere dreidimensionale Kritzelei“ (Jones, 1974, S. 80) bezeichnet wird, nutzt flüssige, UV-reaktive Kunststoffe, die mithilfe von Ultraviolettstrahlung verfestigt werden können. Auf diese Weise soll es möglich sein, jedes beliebige dreidimensionale Objekt auf Basis seines digitalen Bauplanes zu erzeugen.

Zum damaligen Zeitpunkt konnte sich niemand vorstellen, dass diese hypothetische Technologie tatsächlich Realität wird und dass deren weltweiter Markt für Produkte und Dienstleistungen im Jahr 2015 bereits mehr als 5,1 Milliarden US-Dollar umfasst (Wohlers et al., 2016). Die beschriebene Technologie wird heute als *Additive Fertigung* (englisch Additive Manufacturing (AM)) bezeichnet, ist in der Praxis jedoch unter

dem umgangssprachlichen Begriff *3D-Druck* bekannt. Sie ermöglicht die Herstellung physischer Gegenstände auf Basis digitaler, dreidimensionaler Modelle.

2.1 Funktionsprinzip

Allen additiven bzw. generativen Fertigungsverfahren liegt das gleiche Funktionsprinzip zugrunde. Dieses Prinzip ist in Abbildung 2.1 illustriert und wird nachfolgend beschrieben.

Ausgangspunkt der Fertigung ist stets eine digitale Repräsentation, bzw. ein digitaler Bauplan des zu fertigenden Objekts. Diese digitale Blaupause wird in aller Regel als CAD-Modell (englisch Computer-Aided Design) bezeichnet. Im nächsten Schritt wird dieses digitale, dreidimensionale Modell via Software in ein Schichtmodell transformiert. Dieser Schritt, der auch als Slicing bezeichnet wird, ist nötig, da der eigentliche additive Fertigungsprozess das Objekt Schicht für Schicht erzeugt und kombiniert. Das grundlegende Funktionsprinzip und die Gemeinsamkeit aller additiven bzw. generativen Fertigungsverfahren ist diese schichtweise Erzeugung eines Objekts, die oft auch als Schichtbau bezeichnet wird. Auf diese Weise entsteht

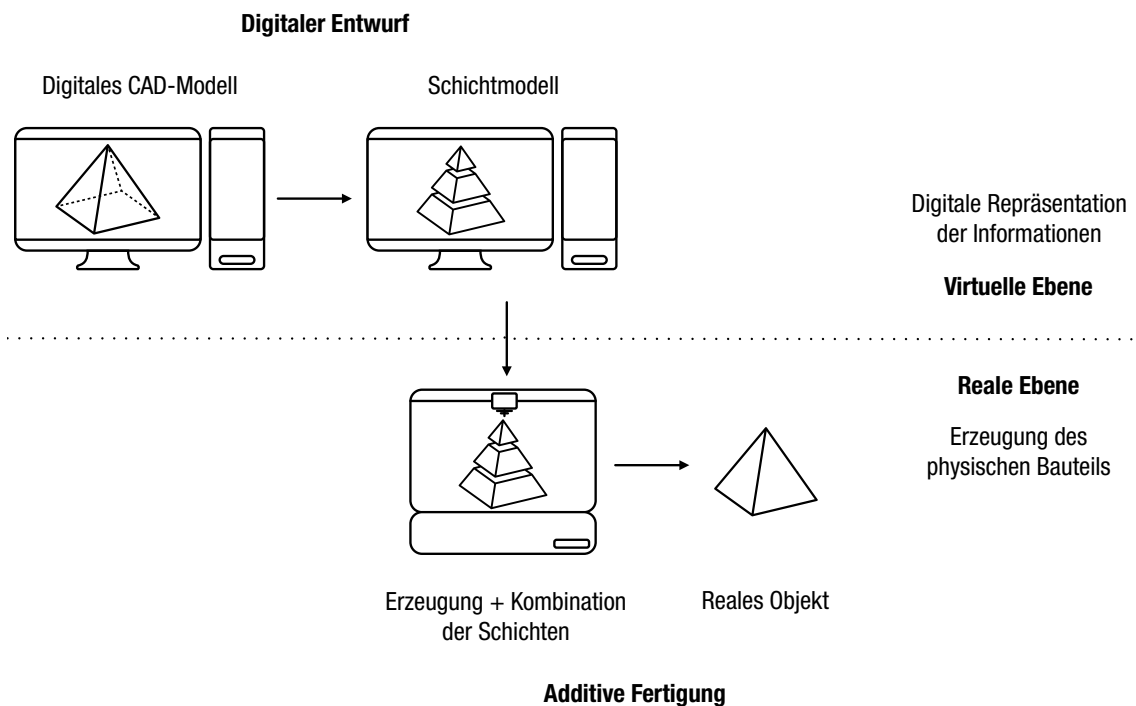


Abbildung 2.1: Funktionsprinzip additiver Fertigungsverfahren (Gebhardt, 2007, 2014).

aus einem digitalen Entwurf ein reales, physisches Objekt (Gebhardt, 2007; Petrovic et al., 2011; Campbell et al., 2012; Gebhardt, 2014; Zhai et al., 2014; Gibson et al., 2015; Klocke, 2015; Gebhardt und Hötter, 2016).

2.2 Einordnung und Begriffsbestimmung

Im Zuge des gesteigerten öffentlichen Interesses werden zahlreiche Begriffe aus dem Themenkomplex der additiven Fertigung teilweise synonym verwendet. So wird beispielsweise der Großteil der an sich unterschiedlichen Verfahrensfamilien oftmals schlicht unter dem plakativen Begriff „3D-Druck“ zusammengefasst (Fastermann, 2012; Campbell et al., 2012; Horsch, 2013; Wohlers und Caffrey, 2013a; Fastermann, 2014; Nitz, 2014; Hagl, 2015; Cole, 2015; Ford et al., 2016; West und Kuk, 2016). Zum besseren Verständnis der Thematik soll mithilfe von Abbildung 2.2 eine Bestimmung und Einordnung der relevanten Kernbegriffe vorgenommen werden.

Additive Fertigung an sich bezeichnet eine *Technologie* und beschreibt damit ein technisches Konzept. Dieses besteht darin, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, reale Objekte auf Basis digitaler Modelle in Schichtbauweise zu erzeugen. Die Technologie der additiven Fertigung wird wiederum in unterschiedlichen Kontexten für spezielle Zwecke verwendet.

Die Nutzung der Technologie zu einem bestimmten Zweck wird als *Anwendung* bezeichnet. Additive Fertigungsverfahren werden vielfach eingesetzt, um Prototypen und Muster herzustellen. Die Bezeichnung dieser Anwendung lautet Rapid Prototyping (RP). Werden hingegen Werkzeuge nach dem generativen Funktionsprinzip

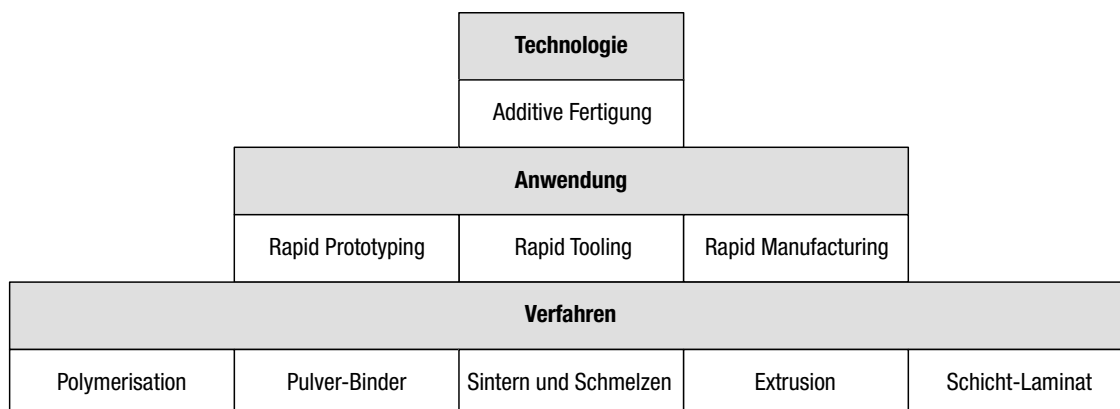


Abbildung 2.2: Einordnung und Abgrenzung der Kernbegriffe.

erzeugt, wird dies als Rapid Tooling (RT) bezeichnet. Bei der Fertigung von Endprodukten wird von Rapid Manufacturing (RM) gesprochen (Grund, 2015; Klocke, 2015; Weller et al., 2015; Feldmann und Pumpe, 2016; Gebhardt, 2016).

Insgesamt existieren fünf unterschiedlichen *Verfahren*, die zur additiven Fertigung eingesetzt werden. Ein Verfahren ist in diesem Zusammenhang die praktische Umsetzung der Technologie für eine bestimmte Anwendung. Das Grundprinzip, die schichtweise Erzeugung der Objekte, ist allen Verfahren gleich (VDI-Richtlinie 3405 2014-12). Die Unterschiede der Verfahren liegen darin, wie die Schichten letztendlich erzeugt werden. Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Verfahren findet sich in Abschnitt 2.3.

Den additiven Fertigungsverfahren, die seit rund 30 Jahren existieren, stehen die traditionellen, konventionellen Verfahren gegenüber. Zur Abgrenzung sollen diese im Folgenden kurz erläutert werden.

- *Subtraktive Fertigung*

Zur Gruppe der subtraktiven Fertigung gehören traditionelle Verfahren, wie beispielsweise das Bohren, Drehen oder Fräsen. Die Gemeinsamkeit dieser Verfahren besteht darin, dass die zu erzeugenden Objekte durch das Entfernen bzw. Abtragen von Material entstehen. Aufgrund der langen Historie existieren mittlerweile spezielle, hoch entwickelte Verfahren, wie die Hochgeschwindigkeitszerspanung, die zur effizienten Massenfertigung genutzt werden (Gebhardt, 2007; Berger et al., 2013).

- *Formative Fertigung*

Formative Verfahren erzeugen Objekte durch Um- oder Urformung eines Ausgangsmaterials. Ein anschauliches Beispiel für ein solches Verfahren stellt das Schmieden dar. Ein entsprechendes modernes Verfahren zur hocheffizienten Fertigung ist beispielsweise das Spritzgießen (Gebhardt, 2007).

Die gebräuchlichste Einteilung der traditionellen subtraktiven und formativen Verfahren ist die nach DIN-Norm 8580:2003-09. Die Klassifizierung unterscheidet insgesamt sechs Hauptgruppen, die nach der Art der Änderung des Stoffzusammenhalts aufgeteilt sind (Awiszus et al., 2012; Fritz und Schulze, 2015). Abbildung 2.3 skizziert die Einteilung entsprechend der Norm.



Abbildung 2.3: Klassifizierung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580:2003-09 (Berger et al., 2013).

Um additive Fertigungsverfahren industriell sinnvoll einsetzen zu können, bedarf es einer einheitlichen, formalisierten Beschreibung. Die bedeutendste derartige Beschreibung im deutschsprachigen Raum ist die VDI-Richtlinie 3405 2014-12 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), die unter Beteiligung von Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft erstellt wurde und sowohl Anwender als auch Produzenten additiver Fertigungssysteme adressiert. Darüber hinaus wurde Ende 2015 von der Standardisierungsorganisation ASTM International ein ISO-Standard veröffentlicht (ISO/ASTM-Standard 52900:2015). Ziel des Standards ist es, ein grundlegendes Verständnis der additiven Fertigungstechnologie zu vermitteln und Begrifflichkeiten zu definieren. Auf diese Weise soll der weltweite Austausch und die Kooperation in Bezug auf die Technologie gefördert werden.

2.3 Additive Fertigungsverfahren und -prozesse

Obwohl alle additiven Fertigungsverfahren das Grundprinzip der schichtweisen Erzeugung gemein haben, unterscheiden sich diese jedoch dadurch, nach welchem Prinzip die einzelnen Schichten eines Objekts erzeugt und zusammengefügt werden. Gegenwärtig werden fünf Verfahrensklassen unterschieden, die im Folgenden vorgestellt werden (Gebhardt, 2014; Gebhardt und Hötter, 2016).

2.3.1 Polymerisation

Die Verhärtung von flüssigen Werkstoffen durch Polymerisation beschreibt das Grundprinzip der Polymerisationsverfahren. Die generische Klasse dieser Verfahren ist besser bekannt unter dem Markennamen *Stereolithographie (SL)* (Hull, 1986). Generell werden bei diesem Verfahren die einzelnen Querschnitte des zu druckenden Objekts mithilfe ultravioletten Lichts aus einer photoreaktiven Flüssigkeit erzeugt. Beim patentierten Prozess wird ein UV-Laser als schichterzeugendes Element eingesetzt (Hull, 1988). Mittels mehrerer beweglicher Spiegel, bezeichnet als Scanner, kann dieser auf die zu verfestigenden Stellen fokussiert werden. Sobald eine Schicht des Objekts komplett erzeugt bzw. verfestigt wurde, wird die Druckplattform um die jeweilige Schichtdicke abgesenkt und das flüssige Material verteilt sich erneut oberhalb des bereits gehärteten Kunststoffes. Die neue Schicht des flüssigen Polymers kann jetzt erneut verfestigt werden (Bártolo, 2011). Abbildung 2.4 illustriert den beschriebenen Prozess schematisch.

Der dargestellte Prozess der Verhärtung durch Polymerisation beschreibt das Prinzip der Stereolithographie. Sie stellt den ältesten additiven Fertigungsverfahren dar (Bártolo und Gibson, 2011; Wong und Hernandez, 2012). Verschiedene Unternehmen verwenden unterschiedliche Methoden zur Polymerisation. So nutzen einige Firmen Laser als Lichtquelle, andere spezielle Lampen. Dementsprechend wurden diverse abgewandelte Prozesse patentiert, die alle nach dem gleichen, zuvor beschriebenen Prinzip arbeiten (Gebhardt, 2012, 2014; Bikas et al., 2016).

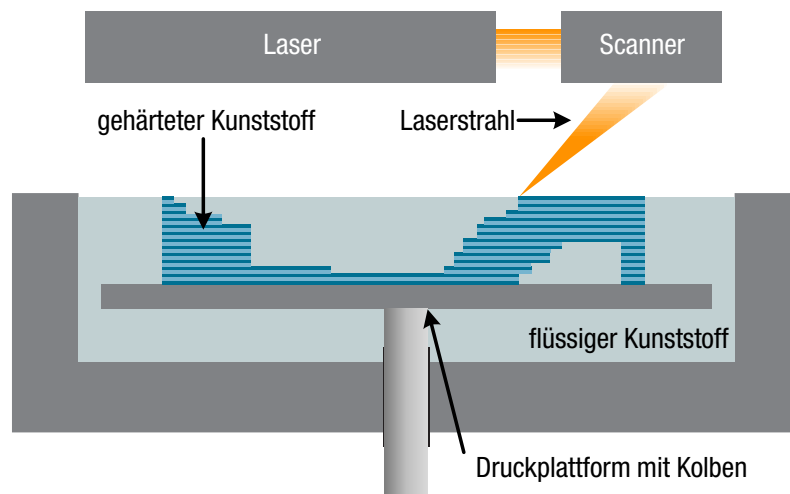


Abbildung 2.4: Fertigungsprozess der Stereolithographie (Michel, 2014).

Die Belastbarkeit der Teile ist im Vergleich zu anderen Verfahren gering, die Materialkosten hingegen sind hoch. Jedoch können durch dieses Verfahren äußerst glatte und detailgetreue Oberflächen erzeugt werden. Da das Verfahren bereits seit mehreren Jahrzehnten eingesetzt wird, kann auf ein sehr umfangreiches Know-how zurückgegriffen werden (Gebhardt, 2007).

2.3.2 Pulver-Binder

Der plakative Begriff *3D-Druck (3DP)* beschreibt ein spezielles additives Pulver-Binder-Verfahren, das dem nahe kommt, was gemeinhin als Drucken bezeichnet wird (Sachs et al., 1993). Bei diesem werden die einzelnen Schichten eines Modells durch Einspritzen eines flüssigen Bindemittels in ein Pulverbett selektiv gebunden bzw. verfestigt. Ähnlich wie bei einem herkömmlichen Tintenstrahldrucker besitzen die Fertigungsgeräte meist mehrere Druckköpfe, die das Bindemittel auftragen. Es besteht zudem die Möglichkeit das Bindemittel einzufärben, um die Herstellung von mehrfarbigen Objekten zu ermöglichen. Nach Abschluss des Bauvorgangs muss das Modell aus dem mit Pulver gefüllten Bauraum entnommen werden und kann anschließend mit Epoxidharz veredelt werden. Dieser Vorgang der Nachbearbeitung wird auch als Infiltration bezeichnet (Fastermann, 2012; Gebhardt, 2014).

Beim 3D-Druck mit Gipspulver lassen sich Modelle im Vergleich zu anderen Prozessen sehr preiswert und in hoher Geschwindigkeit erstellen. Zudem besteht die Möglichkeit vielfarbige Werkstücke anzufertigen. Defizite weist die Technologie in den Bereichen Belastbarkeit und Detailgenauigkeit auf (Gebhardt, 2007).

2.3.3 Sintern und Schmelzen

Beim *Selektiven Lasersintern (SLS)* wird das pulverförmige Ausgangsmaterial am Bearbeitungspunkt des Werkstücks in der Schmelzzone lokal angeschmolzen (Deckard, 1989). Die Verfestigung des Materials erfolgt umgehend durch den Abkühlungsprozess. Auch hier wird das Objekt, durch das Absenken der Plattform, schichtweise aufgebaut. Schrumpfungsprozesse, die durch das Abkühlen entstehen können, sollen durch Berechnungen der Fertigungsmaschine ausgeglichen werden. Als Werkstoffe können Metalle, wie beispielsweise Werkzeug- oder Edelstahl, Aluminium oder Titan sowie Kunststoffe und Keramiken verwendet werden (Breuninger, 2013; Gebhardt, 2012; Zhai et al., 2014; Bikas et al., 2016; Gebhardt und Hötter, 2016).

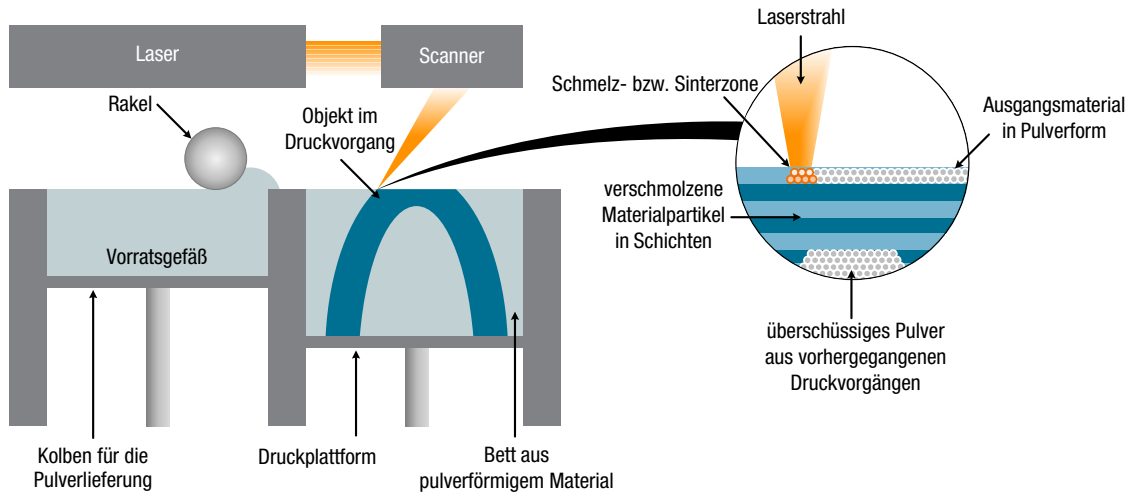


Abbildung 2.5: Fertigungsprozess des selektiven Lasersinterns (Michel, 2014).

Während der Produktion sind keine Stützkonstruktionen erforderlich. Beachtet werden muss, dass der Detailgrad durch die Größe der einzelnen Pulverkörner limitiert ist. Vorteilhaft sind die breite Materialpalette und die hohe thermische sowie mechanische Belastbarkeit, weshalb sich dieses Verfahren, auch über das Bauen von Prototypen hinaus, zur Produktion von Endprodukten eignet (Gebhardt, 2007; Schmid, 2015).

Beim *Selektiven Laserschmelzen (SLM)* wird das pulverförmige Ausgangsmaterial am Bearbeitungspunkt des Werkstücks in der Schmelzzone vollständig geschmolzen (Meiners et al., 1998; Bikas et al., 2016). Da auf diese Weise eine riss- und porenfreie Struktur aufgebaut werden kann, ist es theoretisch möglich eine hundertprozentige Dichte des Baukörpers zu erreichen. Als Werkstoffe können auch bei diesem Verfahren verschiedene Materialpulver, wie zum Beispiel Thermoplaste, Metalle, Keramiken oder Sande verwendet werden (Gebhardt, 2007; Breuninger, 2013; Fastermann, 2014).

2.3.4 Extrusion

Die Schmelzschtichtung, besser bekannt unter dem geschützten Markennamen *Fused Deposition Modeling (FDM)*, gehört zur Klasse der Extrusionsverfahren (Crump, 1992). Die freien Prozessbezeichnungen lauten Fused Filament Fabrication (FFF)

und Fused Layer Modeling (FLM). Im Gegensatz zu den Sinter- und Schmelzverfahren wird das Material ohne Laser oder Elektronenstrahl geschmolzen, was in Abbildung 2.6 verdeutlicht wird.

Als Materialgrundlage dienen thermoplastische, verzugsarme Kunststoffe oder Harze, die meist drahtförmig auf einer Spule aufgerollt sind. Diese werden durch eine beheizte Düse, den Extruder, verflüssigt und schichtweise direkt auf eine Druckplattform bzw. Bauplattform aufgetragen. Nach dem Auftragen des Kunststoffes härtet dieser sofort durch die Abkühlung des Materials aus. Nach Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um die Schichtdicke gesenkt und die nächste Ebene aufgeschmolzen. Zu beachten ist, dass bei überstehenden Teilen, trotz des schnellen Verfestigens des Materials, Stützkonstruktionen notwendig sind. Diese werden jedoch vom System vollautomatisch erzeugt. Weil die Stützen in der Regel aus einem spröderen Material gefertigt werden, lassen sich diese leicht von dem Bauobjekt entfernen, ohne Schäden an diesem zu verursachen (Horsch, 2013; Gebhardt, 2014; Bikas et al., 2016).

Da als Werkstoff lediglich Kunststoffe und Harze verwendet werden können und die Stabilität geringer ist als bei Spritzgussbauteilen, eignet sich FDM hauptsächlich zur

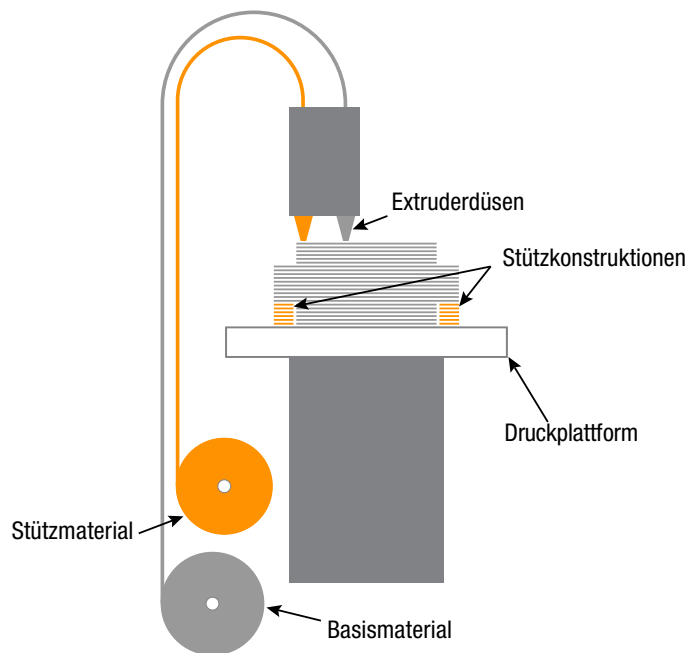


Abbildung 2.6: Fertigungsprozess der Schmelzschichtung (Michel, 2014).

Fertigung von Prototypen und simplen Modellen. FDM gehört zu den kostengünstigsten Prozessen und wird deshalb vor allem bei den sogenannten Desktop-3D-Druckern für den Heimgebrauch eingesetzt. Ein Nachteil der Extrusionsverfahren besteht darin, dass die einzelnen Schichten bei den gefertigten Teilen meist deutlich sichtbar sind (Evans, 2012; Berger et al., 2013; Horsch, 2013; Nitz, 2014; Gebhardt, 2016).

2.3.5 Schicht-Laminat

Bei der Prozessbezeichnung *Laminated Object Manufacturing (LOM)* handelt es sich um einen geschützten Produktnamen, weshalb oftmals der generische Begriff Layer Laminat Manufacturing (LLM) verwendet wird (Feygin und Pak, 1999). Das Verfahren arbeitet mit Folien, die zugeschnitten und dann jeweils schichtweise auf geeignete Art verklebt werden. Je nach Hersteller und verwendetem Material erfolgt der Zuschnitt durch ein Messer, einen heißen Draht oder mithilfe eines Lasers. Als Baumaterial können sämtliche Werkstoffe verwendet werden, die in Folienform gebracht werden können. Hierzu zählen vor allem Papier und Kunststoffe, aber beispielsweise auch Metalle oder Keramiken (Horsch, 2013; Fastermann, 2014; Gebhardt, 2014; Bikas et al., 2016).

Das Verfahren benötigt keine Stützkonstruktionen. Es muss jedoch eine Nachbearbeitung erfolgen, um die überschüssigen Folienreste, welche den Baukörper umgeben, zu entfernen. Durch die Möglichkeit, einfaches Papier als Material zu verwenden und den vergleichsweise simplen Prozess, zählt LOM bis heute zu den preisgünstigsten Möglichkeiten der additiven Fertigung (Gebhardt, 2007).

2.3.6 Systematik additiver Fertigungsverfahren

Die fünf grundlegenden Verfahrensfamilien werden in Tabelle 2.1 zusammengefasst und einander gegenübergestellt. Nebst dem zugrunde liegenden physikalischen Prinzip der Schichterzeugung wird auch das schichterzeugende Element aufgeführt. Außerdem sind die jeweils verwendeten Ausgangsmaterialien beschrieben. Die in der Tabelle aufgeführten und zuvor vorgestellten Fertigungsverfahren stellen jeweils die wichtigsten Vertreter der jeweiligen Verfahrensfamilie dar. Teil der tabellarischen Gegenüberstellung sind außerdem spezifische Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren (Breuninger, 2013; Gebhardt, 2014).

Tabelle 2.1: Gegenüberstellung der fünf grundlegenden Verfahren zur additiven Fertigung (Breuninger, 2013; Gebhardt, 2014).

Verfahren	Polymerisation	Pulver-Binder	Sintern und Schmelzen	Extrusion	Schicht-Laminat
Prinzip	Polymerisation	Verkleben	Schmelzen und Verfestigen	Ausschneiden und Fügen	
Element	UV-Laser	Druckkopf	Laser, Elektronenstrahl	Extruder	Messer, Laser
Material	Flüssigkeit	Feststoff			
	Flüssigkeit, Paste				
Prozess	SL	3DP	SLS, SLM	Filament	Folie
Vorteile	Genauigkeit, Oberflächengüte	Kosten, Farbigkeit	Materialauswahl, Belastbarkeit	FDM	LOM
	Kosten, Belastbarkeit	Genauigkeit, Belastbarkeit	Kosten	Genauigkeit, Oberflächengüte	Komplexität

2.4 Dateiformate

Das grundlegende Prinzip der additiven Fertigung, die schichtweise Erzeugung, wurde bereits in Abschnitt 2.1 detailliert beschrieben. Ausgangspunkt der Fertigung ist hierbei stets ein digitales, dreidimensionales CAD-Modell des zu fertigenden Objekts. Zur Abgrenzung von anderen Modelltypen spricht man bei dreidimensionalen Modellen oftmals von Volumen- oder Körpermodellen (Gebhardt, 2007; Berger et al., 2013). Im Folgenden werden verschiedene Dateiformate für diese Modelle vorgestellt.

2.4.1 Standard Transformation Language (STL)

Beim STL-Format wird die Oberfläche des eigentlichen Modells durch beliebig große, ebene Dreiecke beschrieben. Diese Art der Beschreibung dreidimensionaler Modelle wird als Tessellation oder Tringulation bezeichnet und ist in Abbildung 2.7 veranschaulicht (Gardan, 2016). Aus diesem Grund und bedingt durch die Tatsache, dass das Format nicht standardisiert ist, ist es auch unter den Bezeichnungen „Surface Tessellation Language“ und „Standard Triangulation Language“ bekannt (Gebhardt, 2007; Berger et al., 2013).

Trotz der fehlenden Standardisierung ist das STL-Format das am weitesten verbreitete Dateiformat in Zusammenhang mit der additiven Fertigung und stellt den de facto Industriestandard da (Breuninger, 2013; Gebhardt, 2014). Dies ist hauptsächlich auf die frühe Veröffentlichung zurückzuführen, die es sowohl Hardware- als auch Software-Herstellern frühzeitig erlaubte, das Format in ihre Produkte zu integrieren. Eine STL-Datei kann entweder binär oder als ASCII-Datei erstellt werden. Obwohl

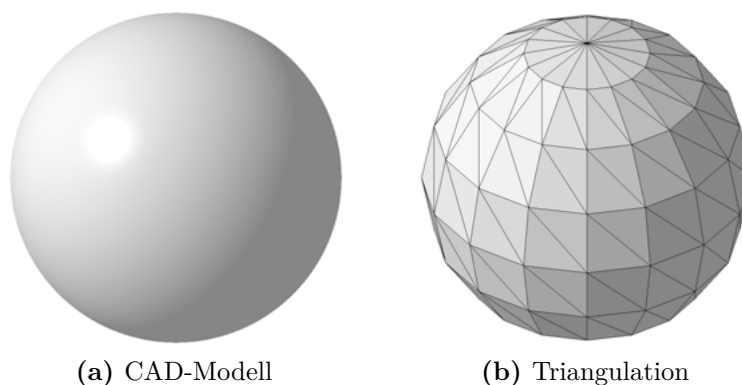


Abbildung 2.7: Modell einer Kugel vor und nach der Triangulation.

ASCII-Dateien eine deutlich höhere Dateigröße mit sich bringen, werden diese häufig eingesetzt, da sie vergleichsweise einfach zu lesen und zu kontrollieren sind.

Quellcode 2.1: Definition eines Dreiecks mit Normalenvektor und Koordinaten der Dreieckspunkte im STL-ASCII-Format.

```
1 solid Kugel
2     facet normal 0.194944 0.038777 0.980048
3         outer loop
4             vertex 100.000000 100.000000 200.000000
5             vertex 138.268341 100.000000 192.387955
6             vertex 135.355347 114.644661 192.387955
7         endloop
8     endfacet
9     [...]
10 endsolid Kugel
```

Die Schwächen des Formates liegen neben der angesprochenen Dateigröße vor allem in einer fehlenden Unterstützung von Materialien und deren Eigenschaften. Darüber hinaus lassen sich im STL-Format auch keinerlei Farbinformationen erfassen (Gibson et al., 2015).

2.4.2 Additive Manufacturing File Format (AMF)

Da das STL-Format aufgrund der zuvor aufgeführten Schwächen bereits aktuellen Anforderungen der additiven Fertigungstechnologie in Bezug auf Farbigkeit, Materialeigenschaften oder Substrukturen nicht mehr gerecht wird, wurde mit dem Additive Manufacturing File Format (AMF) ein Standard geschaffen, der seit Februar 2015 in Version 1.2 vorliegt (ISO/ASTM-Standard 52915:2016). Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung lag dabei, neben den angesprochenen aktuellen Anforderungen, vor allem in der Abwärtskompatibilität zu STL sowie einer Erweiterbarkeit im Hinblick auf zukünftige Anforderungen (Gardan, 2016). Das Format ist einfach zu implementieren und nachzuvollziehen und ist trotz seiner Skalierbarkeit äußerst performant (ISO/ASTM-Standard 52915:2016).

Trotz der klaren Vorteile und der internationalen Standardisierung hat sich AMF als Dateiformat nicht durchgesetzt (Gebhardt, 2014). Schuld daran ist hauptsächlich die fehlende Unterstützung bzw. Implementierung vieler Hersteller von Fertigungssystemen und Software.

2.4.3 3D Manufacturing Format (3MF)

3MF ist ein Industriekonsortium, das im Jahr 2015 mit dem Ziel gegründet wurde, ein innovatives und erweiterbares Dateiformat für die additive Fertigung zu entwickeln. Zu den Mitgliedern gehören namhafte Unternehmen der Branche wie beispielsweise 3D Systems, Autodesk, General Electric, Materialise, Microsoft, Shapeways, Siemens, Stratasys und Ultimaker (Vanderkay, 2015; Zaleski, 2016). Neben einem oder mehreren 3D-Modellen an sich, kann eine 3MF-Datei noch folgende optionale Erweiterungen beinhalten (3MF Consortium, 2016):

- Erfasst werden können dokumentspezifische *Metadaten und Informationen* wie beispielsweise der Zeitpunkt der Erstellung oder letzten Änderung. Außerdem kann hier ein Autor und Schlüsselworte zur besseren Kategorisierung hinterlegt werden.
- *Digitale Zertifikate und Signaturen* erlauben es festzustellen, ob ein Modell nachträglich verändert wurde.
- In einem *Druckauftrag* innerhalb der Datei können anlagenspezifische Parameter hinterlegt und Materialien für die Fertigung spezifiziert werden.
- Eine 3MF-Datei kann ein *Vorschaubild* des eigentlichen Modells als JPEG oder PNG enthalten.
- Komplexe Informationen zur gewünschten *Textur* des Objekts können als separate Datei zur Verfügung gestellt werden.

Das Dateiformat 3MF basiert auf den Bestrebungen Microsofts, additive Fertigung in das firmeneigene Betriebssystem Windows zu integrieren. Aufgrund der Schwächen des bestehenden STL-Formats und aktuellen Anforderungen wurde 3MF von Grund auf neu entwickelt. Um dem de facto Standard entgegenzutreten, wurde das Format bzw. die Spezifikation unter offenen Lizenzen zur Verfügung gestellt (Zaleski, 2016).

Das Potential des Formats lässt sich daran festmachen, dass die beiden größten Anbieter additiver Fertigungssysteme, 3D Systems und Stratasys, mittlerweile Mitglieder des Konsortiums sind und sich aktiv an der Entwicklung beteiligen. Der Standardisierungsprozess, der im Juni 2016 aufgenommen wurde, unterstreicht die Ambitionen und die Bedeutung des Formats (Vanderkay, 2016).

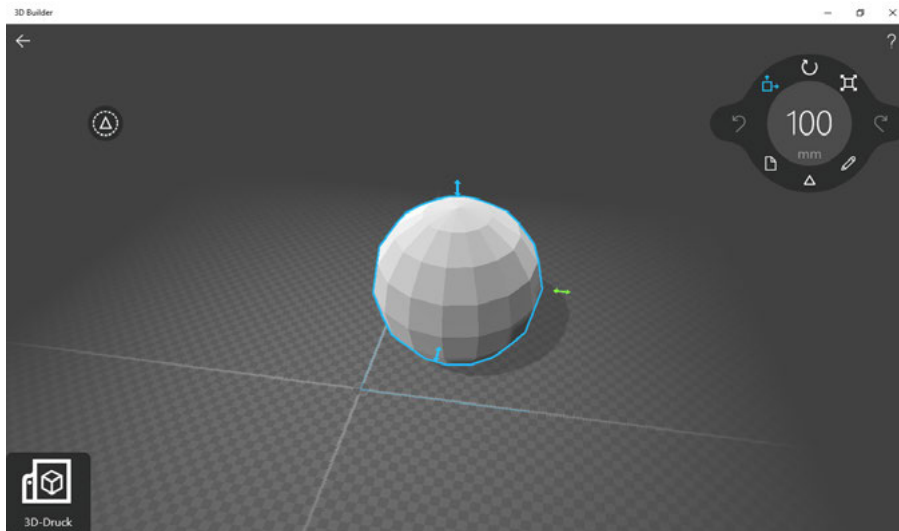


Abbildung 2.8: Mithilfe der Windows Applikation „3D Builder“ können 3MF-Dateien bearbeitet werden.

Darüber hinaus bringt das Desktop-Betriebssystem Windows 10 von Haus aus eine Unterstützung mit sich (Microsoft, 2016b). Über die in das Betriebssystem integrierte Applikation „3D Builder“, die in Abbildung 2.8 dargestellt ist, können Modelle betrachtet, modifiziert und gedruckt werden (Microsoft, 2016a). Außerdem besitzt Windows 10 ein Treibermodell für Geräte zur 3D-Fertigung, das mittlerweile von einer Vielzahl von Desktop-3D-Druckern unterstützt wird. In der Praxis bedeutet dies, dass Nutzer über den regulären Windows-Druckdialog auch einen 3D-Druck starten können. Im Rahmen des für 2017 angekündigten „Creators’s Update“ ist außerdem die Einführung von „Paint 3D“ als einfache Modellierungssoftware und einer Online-Plattform zum Austausch von dreidimensionalen Designs geplant (Etherington, 2016). Der Vorteil für Nutzer des Betriebssystems ist ein durchgehend konsistentes Nutzungserlebnis bei der kreativen Arbeit mit dreidimensionalen Designs.

2.4.4 OpenSCAD

Ein gänzlich anderes Konzept als die zuvor vorgestellten Dateiformate verfolgt OpenSCAD. Die freie, textbasierte Modellierungssprache, mit der geometrische Körper erzeugt und modifiziert werden können, ist eine Mischung aus Dateiformat und CAD-Software (Evans, 2012; Fastermann, 2014). Der nachfolgende Quellcode 2.2 verdeutlicht den textbasierten, parametrischen Ansatz zur dreidimensionalen

Konstruktion. Der Screenshot in Abbildung 2.9 zeigt das dreidimensionale Modell nach dem Kompilieren und Rendern des Quellcodes.

Quellcode 2.2: Erzeugung und Modifikation geometrischer Körper mithilfe der freien, textbasierten Modellierungssprache OpenSCAD

```
1 difference() {  
2     cube(12, center=true);  
3     sphere(8);  
4 }
```

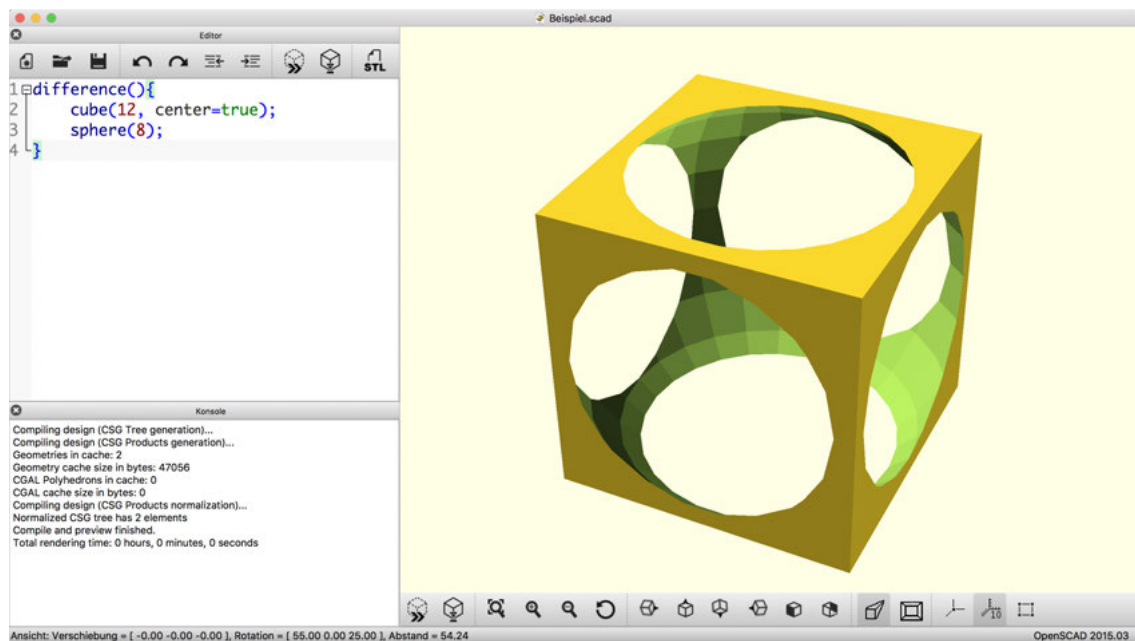


Abbildung 2.9: Modell eines Quaders mit ausgeschnittener Kugel in OpenSCAD.

Die Stärke von OpenSCAD liegt in der Möglichkeit parametrische Modelle zu erstellen (Horsch, 2013; Pearce, 2013). Darüber hinaus lassen sich aufgrund des programmiersprachenähnlichen Charakters auch Objekte prozedural erzeugen. Diese Eigenschaften machen OpenSCAD vor allem für individuell anpassbare 3D-Modelle interessant.

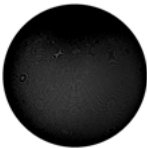
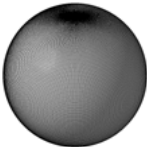
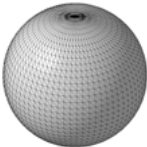
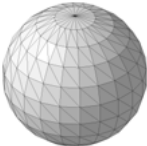
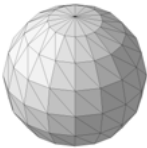
2.4.5 Gegenüberstellung

Im Verlauf des Abschnitts wurden verschiedene Dateiformate für dreidimensionale Volumenmodelle vorgestellt. Da der seit Jahrzehnten etablierte de facto Standard STL diversen Einschränkungen unterliegt, wurden in jüngster Zeit Nachfolger entwickelt. Zu nennen sind hier vor allem die Formate AMF und 3MF, wobei die

„royalty-free“ Spezifikation 3MF aufgrund der breiten Unterstützung im Markt eine weitere Verbreitung erreicht.

Tabelle 2.2 beinhaltet eine Gegenüberstellung der genannten Formate. Veranschaulicht wird hierbei nochmals das Konzept der Triangulation. Ersichtlich wird auch, dass die Anzahl der benötigten Dreiecke steigt, je detaillierter eine Oberfläche dargestellt werden soll. Die Dateigröße wiederum ist abhängig von der Anzahl der zu speichernden Dreiecke. Außerdem klar ersichtlich ist eines der Hauptargumente für die neuen, innovativen Dateiformate – der Speicherbedarf. Beim hier dargestellten höchsten Detailgrad beansprucht die ASCII-kodierte STL-Datei 15 Mal mehr Speicher als beispielsweise das gleiche Modell im Dateiformat 3MF.

Tabelle 2.2: Gegenüberstellung der Dateiformate STL, 3MF und AMF.

Modell	Anzahl der Dreiecke	Dateiformat	Dateigröße [KB]
	491.400	STL (ASCII)	99.032
		STL	23.995
		3MF	6.460
		AMF	5.720
	48.840	STL (ASCII)	9.843
		STL	2.385
		3MF	582
		AMF	463
	4.760	STL (ASCII)	959
		STL	233
		3MF	57
		AMF	49
	440	STL (ASCII)	89
		STL	22
		3MF	6
		AMF	5
	224	STL (ASCII)	46
		STL	11
		3MF	4
		AMF	3

2.5 Historischer Abriss

Die Geschichte der additiven Fertigung nahm ihren Anfang im Jahr 1986, als Hull eine Technologie patentierte, um dreidimensionale physische Objekte auf Basis digitaler Daten zu drucken (Hull, 1986). Er nannte den Prozess „Stereolithography“ und gründete die Firma 3D Systems, die sich zu einem der führenden Unternehmen der Branche entwickelt hat. Eine Übersicht über die Entwicklungen der Folgejahre sowie andere bedeutende Ereignisse in der Geschichte der additiven Fertigung findet sich in Tabelle 2.3.

Die additive Fertigungstechnologie existiert bereits seit drei Jahrzehnten. Lange Zeit wurde diese jedoch lediglich in der Industrie, hauptsächlich zur Herstellung von Prototypen, genutzt. Wie die tabellarische Aufstellung verschiedener Ereignisse verdeutlicht, hat die Branche im Verlauf der Jahre verschiedene Veränderungen erfahren, die nachfolgend kurz zusammengefasst werden:

- *Vielfältigkeit*

Seit dem ersten Patent zur SL wurde eine Vielzahl weiterer Verfahren und Prozesse entwickelt. Was ursprünglich als Fertigungsprozess für die Herstellung von Prototypen aus Kunststoff genutzt wurde, ist mittlerweile imstande Endprodukte mit integrierter Funktionalität zu fertigen (Mavroidis et al., 2001; Cali et al., 2012). Die Materialien, die hierbei heute zum Einsatz kommen, reichen von Kunststoff über Metall und Lebensmittel (Wegrzyn et al., 2012; Lipson und Kurman, 2013; Godoi et al., 2016; Jia et al., 2016) bis hin zu synthetischem menschlichen Gewebe (englisch Bioprinting) (Mironov et al., 2007; Fedorovich et al., 2011; Melchels et al., 2012; Murphy und Atala, 2014; Ventola, 2014; Cole, 2015).

- *Heimgebrauch*

Komplett montierte und gebrauchsfertige, kostengünstige 3D-Drucker sind heute bereits für weniger als 500 € erhältlich (Wallich, 2010; Wong und Hernandez, 2012; Berger et al., 2013; de Bruijn und de Jong, 2013; Kietzmann et al., 2015). Bereits für weniger als 100 € können Bausätze für einfache, aber voll funktionsfähige, Geräte erworben werden (Jackson, 2017; Knabel, 2017). Diese simplen Geräte werden hauptsächlich für private oder schulische Zwecke verwendet (Gershenfeld, 2005; Malone und Lipson, 2007; Mota, 2011; Canessa

Tabelle 2.3: Historischer Überblick zur Entwicklung der additiven Fertigung (Hull, 1986; Crump, 1992; Sachs et al., 1993; Van West, 2011; Wohlers und Caffrey, 2013b, 2014, 2015; Vallés, 2014; Echevarria, 2015; Müller und Karevska, 2016; Wohlers et al., 2016, 2017).

Jahr	Ereignis
1986	Charles Hull erhält das Patent für Stereolithografie.
1988	Scott Crump erfindet das „Fused Deposition Modeling“.
1991	Das erste AM-System, das nach dem Schicht-Laminat-Verfahren arbeitet, wird verkauft.
1992	Die ersten Lasersinter-Fertigungsmaschinen werden angeboten. Das MIT patentiert „Three-dimensional printing techniques“.
1993	Der weltweite Umsatz für Produkte und Dienstleistungen liegt bei ca. 100 Millionen US-Dollar.
2001	Der durchschnittliche Verkaufspreis industrieller AM-Systeme beläuft sich auf 118.000 US-Dollar.
2006	Das Open-Source-Projekt des selbstreplizierenden 3D-Druckers „RepRap“ wird ins Leben gerufen.
2007	Die Verkaufszahlen für 3D-Drucker für den Heimgebrauch belaufen sich auf 66 Stück.
2010	Additive Fertigungsmethoden werden genutzt, um Blutgefäße zu drucken. Das Marktvolumen der additiven Fertigung steigt auf 1,3 Milliarden US-Dollar.
2012	Rund 7.770 industrielle additive Fertigungsanlagen werden verkauft. Der durchschnittliche Verkaufspreis dieser Anlagen liegt bei 79.500 US-Dollar. Es werden ca. 35.500 Desktop-3D-Drucker verkauft, wobei einfache, fertig montierte Geräte bereits ab 1.500 US-Dollar angeboten werden. Der Markt für additive Fertigung, bestehend aus Produkten und Dienstleistungen, wächst auf 2,2 Milliarden US-Dollar.
2013	Der Markt für additive Fertigung überschreitet erstmals die Marke von 3 Milliarden US-Dollar. US-Präsident Barack Obama räumt der additiven Fertigung in seiner Ansprache zur Lage der Nation großes Potential ein.
2014	Desktop-3D-Drucker sind bereits für unter 500 Euro erhältlich. Die Europäische Kommission bezeichnet die additive Fertigung als „Key Enabling Technology“.
2015	Es werden mehr als 278.000 Desktop-3D-Drucker verkauft. Die Online-Plattform und -Community Thingiverse verzeichnet über eine Million Modelle, die insgesamt über 200 Millionen Mal heruntergeladen wurden. Das Marktvolumen für Produkte und Dienstleistungen erreicht 5,1 Milliarden US-Dollar.
2016	37 % der deutschen Unternehmen nutzen additive Fertigungsverfahren, weitere 12 % ziehen eine Einführung in Betracht. Das Marktvolumen steigt, bei einer Wachstumsrate von 17,4 %, auf insgesamt 6,1 Milliarden US-Dollar an.

et al., 2013; Olla, 2015; Rattat, 2016; Uppala und Ankem, 2017). Die Verkaufszahlen dieser Geräte für den Heimgebrauch stiegen von nur 66 im Jahr 2007 auf insgesamt 278.385 verkaufte Einheiten im Jahr 2015 an (Mearian, 2016; Wohlers et al., 2016).

- *Wachstum*

Seit dem Start vor ca. 30 Jahren bestand stets eine starke Nachfrage in Bezug auf additive Fertigungstechnologien, die bis heute kontinuierlich zugenommen hat. Dennoch dauerte es in etwa zwei Jahrzehnte bis das Marktvolumen eine Milliarde US-Dollar erreichte. Die Wachstumsraten der darauf folgenden Jahre waren hingegen stets zweistellig. So erreichte der Markt bei einer jährlichen Wachstumsrate von 25,9 % im Jahr 2015 bereits ein Volumen von mehr als 5,1 Milliarden US-Dollar (Wohlers et al., 2016). Analysten gehen von einem weiteren Wachstum aus und prophezeien der Industrie im Jahr 2022 bereits ein Volumen von 26,2 Milliarden US-Dollar (Wohlers et al., 2017). Einige von ihnen gehen sogar noch weiter und erkennen eine disruptive Technologie, die das Potential besitzt, die nächste industrielle Revolution loszutreten (Anderson, 2012; Berman, 2012; Markillie, 2012; Petrick und Simpson, 2013; Prince, 2014; Cole, 2015; Kietzmann et al., 2015; Olla, 2015; Mohajeri et al., 2016; Troxler und van Woensel, 2016; Yves et al., 2016).

2.6 Zwischenfazit

Im zurückliegenden Kapitel wurde die additive Fertigung aus technologischer Sicht beschrieben. Hierzu wurden verschiedene Aspekte aufgegriffen und diskutiert.

Neben dem eigentlichen Funktionsprinzip – dem schichtweisen Aufbau eines Objekts auf Basis eines digitalen Modells – wurden verschiedene Begrifflichkeiten aus dem Kontext der additiven Fertigung eingeführt und zueinander in Beziehung gesetzt. Hierzu wurde grobe Unterteilung nach Technologie, Anwendung und Verfahren durchgeführt. Zur besseren Abgrenzung gegenüber traditionellen Verfahren wurde ebenfalls die subtraktive sowie die formative Fertigung kurz vorgestellt. Anschließend wurden die fünf elementaren, additiven Verfahrensklassen evaluiert und die einzelnen Verfahren und Prozesse detailliert beschrieben. Die erarbeitete Systematik erlaubt eine Gegenüberstellung nach physikalischem Prinzip der Schichterzeugung, schichtzeugendem Element und Ausgangsmaterialien. Teil der Gegenüberstellung sind

außerdem spezifische Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren. Darüber hinaus wurden verschiedene Dateiformate vorgestellt. Da der etablierte de facto Standard STL diversen Einschränkungen unterliegt, wird derzeit an neuen Dateiformaten gearbeitet. Das Format 3MF hat aufgrund seiner Lizenzfreiheit bereits eine weite Verbreitung erreicht und avanciert zum Nachfolger. Der historische Abriss zum Ende des Kapitels gibt einen Überblick über die allgemeine Entwicklung der additiven Fertigung im Verlauf der Jahre.

Wie aus der historischen Betrachtung deutlich wird, hat der Markt in den letzten Jahren ein starkes Wachstum erfahren, auch im Bereich der kostengünstigen Desktop-3D-Drucker. Beobachter bescheinigen der Technologie immenses Potenzial und prophezeien darauf basierend eine neue industrielle Revolution. Aus diesem Grund werden im kommenden Kapitel der Markt und dessen Entwicklung detailliert analysiert und wirtschaftliche Implikationen diskutiert.

Marktübersicht und -entwicklung

„3D printing will enable us not just to prototype and manufacture old things in new ways, but to create and deliver new products in new ways according to radically new business models.“

Christopher Barnatt

Eine Studie aus dem Jahr 2016, in deren Rahmen insgesamt 900 Unternehmen aus zwölf verschiedenen Ländern befragt wurden, zeigt, dass bereits 24 % aller Unternehmen die additive Fertigungstechnologie als ein wichtiges, strategisches Thema wahrnehmen. Deutsche Unternehmen sind dabei vor allem bei der Anwendung führend: 37 % nutzen bereits additive Fertigungsverfahren und weitere 12 % ziehen eine Einführung in Betracht (Müller und Karevska, 2016).

Die Aktualität und Bedeutung für die Industrie hat auch die Europäische Union (EU) erkannt. Im aktuellen EU-Rahmenprogramm „Horizon 2020“ wird die additive Fertigung zu den „Key Enabling Technologies (KETs)“ gezählt. Die in die Beurteilung involvierten Experten gehen davon aus, dass die Technologie eine Schlüsselrolle – sowohl in Bezug auf die Industrieführerschaft als auch auf den gesellschaftlichen Wandel – einnehmen wird (Vallés, 2014; Duchêne et al., 2016). Dennoch hat sich die Forschung bisher vor allem mit der technischen Seite der Technologie auseinandergesetzt (Gausemeier et al., 2013; Li et al., 2016). Vor allem Fragestellungen zu sozialökonomischen Auswirkungen haben bisher kaum Beachtung

gefunden (Thiesse et al., 2015; Baumers et al., 2016; Ford et al., 2016; Luchs et al., 2016; Jiang et al., 2017). Insbesondere deshalb ist es wichtig, sich einen Überblick über den Wertkontext und die Wertschöpfung der aufstrebenden Technologie zu verschaffen (Phaal et al., 2011; Ford et al., 2016).

Im weiteren Verlauf wird zunächst die Wertschöpfungskette der additiven Fertigung, deren Entwicklung und involvierte Akteure beschrieben. Anschließend werden diverse Online-Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung systematisch erläutert und visualisiert. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind zu erwartende wirtschaftliche Potentiale, die sich aus einer Reihe technischer Charakteristika ableiten lassen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden außerdem genutzt, um zwei reale Unternehmen der Branche exemplarisch mithilfe von Fallstudien zu analysieren.

3.1 Wertschöpfungskette

Die 3D-Druck-Branche hat sich in den rund 30 Jahren ihres Bestehens, ausgehend von einer kleinen Gruppe produzierender Unternehmen, mittlerweile in Form verschiedener Wertschöpfungsstufen deutlich ausdifferenziert. Heutige Unternehmen verfolgen unterschiedliche Geschäftsmodelle, denen mehr oder weniger komplexe Produkt- und/oder Dienstleistungsbündel zugrunde liegen. Insbesondere ein regelrechter Hype rund um das Thema „Consumer 3D Printing“ führte in den vergangenen Jahren zu einer Vielzahl von Neugründungen, nicht nur in den Bereichen Hard- und Software, sondern auch in Form von internetbasierten Plattformen, wie z. B. Onlineshops und Marktplätzen (Wohlers und Caffrey, 2013b; Rayna und Striukova, 2016a; West und Kuk, 2016). Die beschriebene Entwicklung der Wertschöpfungskette lässt sich grob in drei Phasen unterteilen:

- *80er/90er Jahre: Anbieter von Basistechnologie*

In den Anfangstagen bestand die Branche im Wesentlichen aus einigen wenigen Hardware-Anbietern, die jeweils mit eigenen, durch Patente vor Nachahmern geschützten, additiven Fertigungsprozessen in den Markt eintraten und dort geeignete Nischen besetzten. Hinzu kamen spezialisierte Materialhersteller, die je nach Fertigungsprozess direkt an den Hersteller oder Endkunden lieferten. Die in die Anlagen integrierte Steuerungssoftware wurde ebenfalls vom Hersteller, zusammen mit der Hardware, geliefert. Zur Konstruktion der digitalen

Modelle hingegen kamen bereits damals spezialisierte Softwarewerkzeuge zum Einsatz.

- *90er/2000er Jahre: Additive Fertigung als professionelle Dienstleistung*
Aufgrund der hohen Investitionskosten für additive Fertigungssysteme, die sich nur für hinreichend große Unternehmen rechneten, entstanden bereits früh Auftragsfertiger, an die einzelne Produktionsjobs outgesourct werden konnten. Der Wettbewerb in dieser Branche, deren Leistung zum Großteil in der Fertigung von Prototypen bestand, fand hauptsächlich über eine Differenzierung im Bereich der Produktqualität statt. Die additive Fertigung wurde hierbei in den meisten Fällen nicht isoliert, sondern als Geschäftsbereich von Unternehmen u.a. aus dem Bereich traditioneller Fertigung wie beispielsweise dem Spritzguss aufgebaut. Mit Unternehmen wie Shapeways entstanden erste Anbieter, deren Fokus auf der individualisierten Einzelstück- und Kleinserienfertigung für Endkonsumenten lag und die zu diesem Zweck Kataloge mit 3D-Modellinhalten aufbauten.
- *Heute: 3D-Druck für die Massen*
Mit dem Auslaufen wesentlicher Patente, insbesondere für Extrusions-Verfahren, eröffnete sich die Chance für eine Vielzahl von Start-ups günstige Nachahmerprodukte für den Massenmarkt anzubieten. Gleichzeitig entstanden zahlreiche E-Business-Start-ups rund um die Vermittlung von Produktionskapazitäten, das Customizing von Modellinhalten und den Verkauf von dreidimensionalen Designs. Eine zunehmende Rolle spielen in jüngster Zeit auch komplementäre Technologien, wie das 3D-Scannen, die von Hardwareherstellern und Druckdienstleistern stetig in ihr Leistungsportfolio integriert werden.

Die oben beschriebenen einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette, ihre Entwicklung und die erläuterten Beziehungen zwischen den involvierten Akteure sind in Abbildung 3.1 skizziert. In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Stufen näher beschrieben. Im Vordergrund stehen dabei die dem Wettbewerb zugrunde liegenden Kompetenzen.

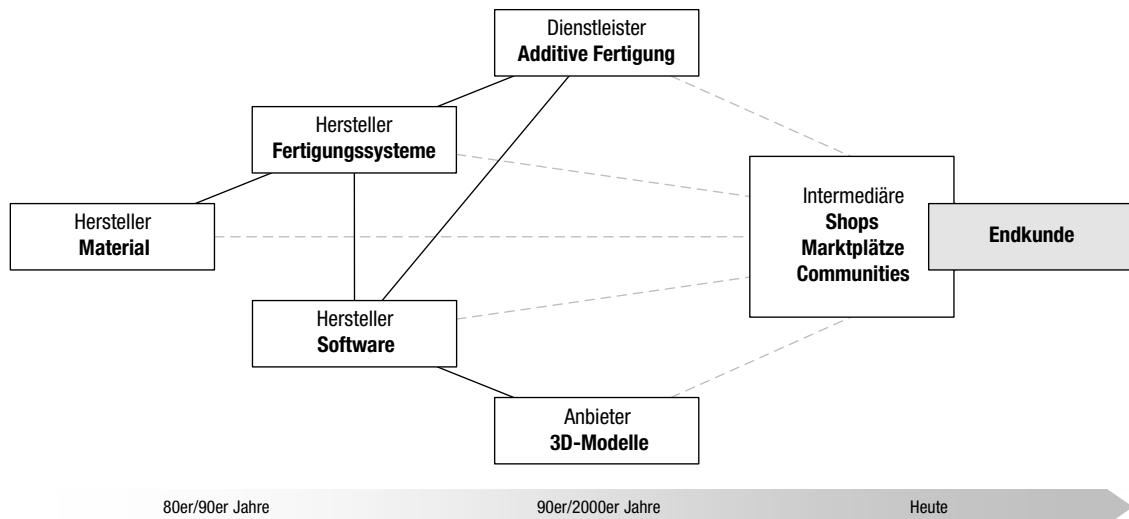
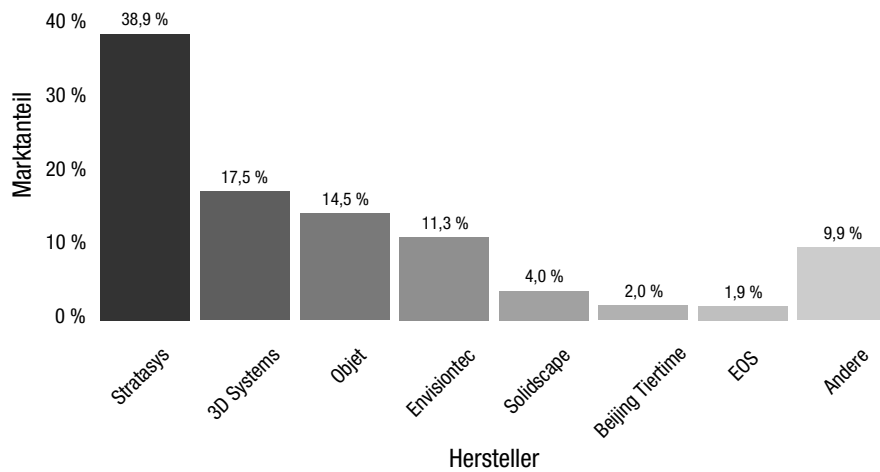


Abbildung 3.1: Wertschöpfungskette der additiven Fertigung.

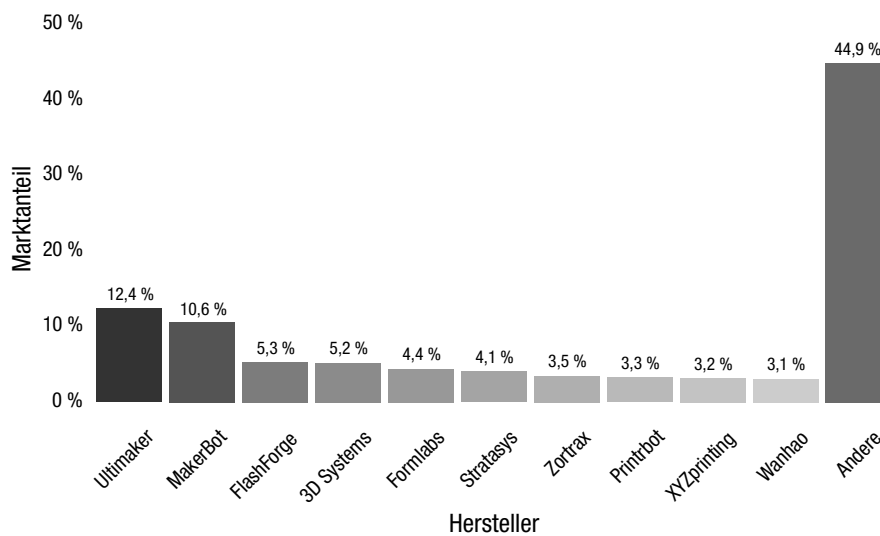
3.1.1 Hersteller

Die ersten Unternehmen, die als Hersteller von Anlagen fungierten, wurden bereits in den 80er Jahren, kurz nach der Anmeldung der ersten Patente, gegründet. Heute stellt sich der Markt für industrielle Anlagen stark fragmentiert dar, jedoch mit einer starken Konzentration auf einige wenige große Hersteller. Dies ist nicht zuletzt das Resultat einer Welle von Unternehmensakquisitionen in den letzten Jahren, die vor allem von den beiden Unternehmen Stratasys und 3D Systems ausging. Ein Beispiel für die beschriebene Expansions- und Übernahmepolitik ist die Fusion der US-amerikanischen Firma Stratasys mit dem israelischen Konkurrenten Objet im April 2012 (Hurst, 2012; Stratasys, 2012). Die Dimension dieser Fusion wird deutlich, wenn man die Marktanteile der Anlagenhersteller betrachtet, die in Abbildung 3.2a dargestellt sind. In Bezug auf die Anzahl verkaufter Systeme im Jahr 2012 besitzt das neu fusionierte Unternehmen einen Marktanteil von 53,4 %.

Die wesentlichen Kompetenzen entsprechender Unternehmen bestehen einerseits im Bereich des, meist mit Patenten als Eintrittsbarrieren belegten, Ingenieur-Know-hows für den Bau von Anlagen, andererseits in der Entwicklung von Steuerungssoftware. Hinzu kommen spezialisiertes Wissen in den Materialwissenschaften sowie Erfahrung mit einzelnen Anwendungsbereichen. Die Entwicklung von Fertigungsanlagen ist eng mit den verwendeten Materialien verknüpft, was dazu führt, dass Anlagenhersteller in nahezu allen Fällen gleichzeitig auch als Materiallieferanten auftreten. So hat beispielsweise der schwedische Anlagenhersteller Arcam AB im Februar 2016



(a) Marktanteile der Hersteller nach Anzahl verkaufter industrieller Systeme im Jahr 2012 ($N = 7.771$) (Wohlers und Caffrey, 2013b).



(b) Anteile der Hersteller von Desktop-3D-Druckern innerhalb der Plattform 3D Hubs im zweiten Quartal 2017 ($N = 33.248$) (Garret, 2017).

Abbildung 3.2: Marktanteile der Hersteller in den Bereichen industrielle Fertigungsanlagen und Desktop-3D-Drucker.

bekannt gegeben, dass sein kanadisches Tochterunternehmen AP&C in insgesamt drei neue Reaktoren zur Produktion von Metallpulver für die additive Fertigung investieren wird (Arcam AB, 2016).

Eine von Herstellern industrieller Anlagen zu unterscheidende Gruppe sind die Anbieter von Druckern für den Privatgebrauch im Preissegment unterhalb von 5.000 US-Dollar (Stemp-Morlock, 2010; Mota, 2011; Mertz, 2013; West und Kuk, 2016; Wohlers et al., 2016). Den mit 12,4% größten Marktanteil in diesem Segment hat derzeit das niederländische Unternehmen Ultimaker, wie aus Abbildung 3.2b hervorgeht. Die Abbildung verdeutlicht außerdem, dass sich neben den aus dem professionellen, industriellen Segment bekannten Anbietern (insb. Stratasys und 3D Systems) zahlreiche kleinere Neugründungen im Bereich der Konsumenten tummeln. Diese konnten durch auslaufende Patente, mit Druckern, meist auf Grundlage des Extrusionsverfahrens, in den Markt eintreten (König, 2012; Gerber, 2016; West und Kuk, 2016). Mit dem Auslaufen des Patents für den FDM-Prozess im Jahr 2009 begann deshalb auch die Anzahl der verkauften Desktop-3D-Drucker deutlich zu steigen. Wurden im Jahr 2008 nur lediglich 355 Systeme für den Heimgebrauch verkauft, stieg die Anzahl im Jahr 2015 auf über 278.000 an (vgl. Abbildung 3.3). Aufgrund der steigenden Zahl kleiner Hersteller aus dem asiatischen Raum, die

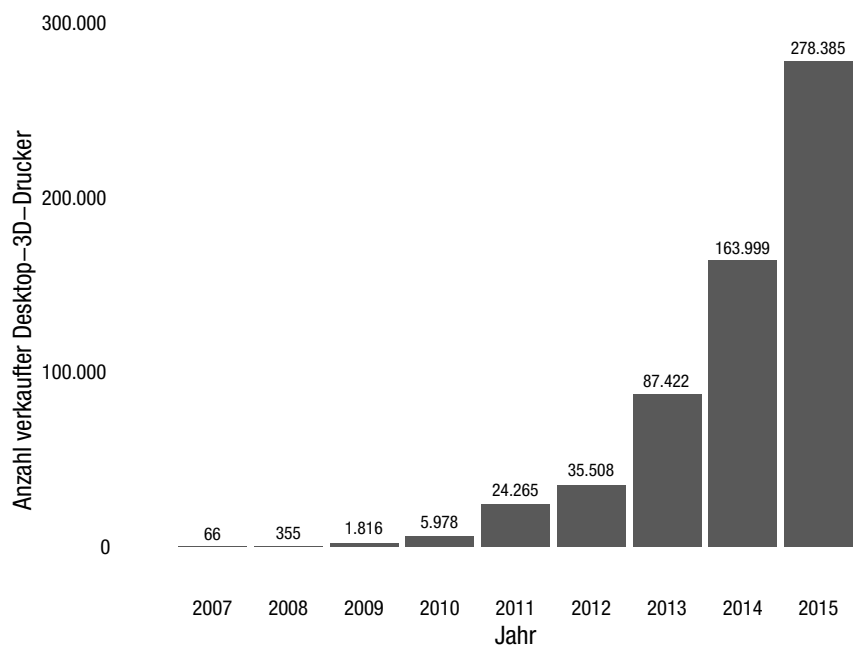


Abbildung 3.3: Anzahl verkaufter Desktop-3D-Drucker im Zeitraum 2007–2015 (Wohlers et al., 2016).

mit nahezu baugleichen Geräten an den Markt gehen, ist dieses Marktsegment zunehmend schwer zu überblicken. Im Gegensatz zu den Herstellern industrieller Anlagen ist die Innovationsrate in dieser Gruppe von Unternehmen eher gering. Im Vordergrund des Wettbewerbs stehen nunmehr zunehmend Preis und Design der Desktop-3D-Drucker. Da die eingesetzten Fertigungsverfahren gemeinfrei sind, bestehen die entscheidenden Kompetenzen in der Fähigkeit Geräte kostengünstig und gleichzeitig attraktiv zu gestalten und fertigen zu lassen sowie im B2C-Marketing und -Vertrieb.

Hierbei gilt es zu beachten, dass die derzeit angebotenen Desktop-Systeme, in Bezug auf Geschwindigkeit und Qualität der produzierten Objekte, nicht mit den industriellen Systemen vergleichbar sind. Hinzu kommt meist eine relativ schwierige Bedienung (König, 2012; Horsch, 2013). Vor diesem Hintergrund ist die weitere Entwicklung in diesem Marktsegment mit einer gewissen Skepsis zu betrachten. Bei *Desktop-3D-Druckern* und *industriellen additiven Fertigungssystemen*, wie sie in großen Unternehmen bzw. Konzernen eingesetzt werden, handelt es sich grundsätzlich um zwei unterschiedliche Klassen, die separat betrachtet werden müssen. Dies geht auch aus dem Hype-Zyklus (Honsel, 2006; O’Leary, 2008) der additiven Fertigung des Beratungs- und Marktforschungsunternehmens Gartner aus dem Jahr 2015 hervor (Rivera und Van der Meulen, 2015; Troxler und van Woensel, 2016).

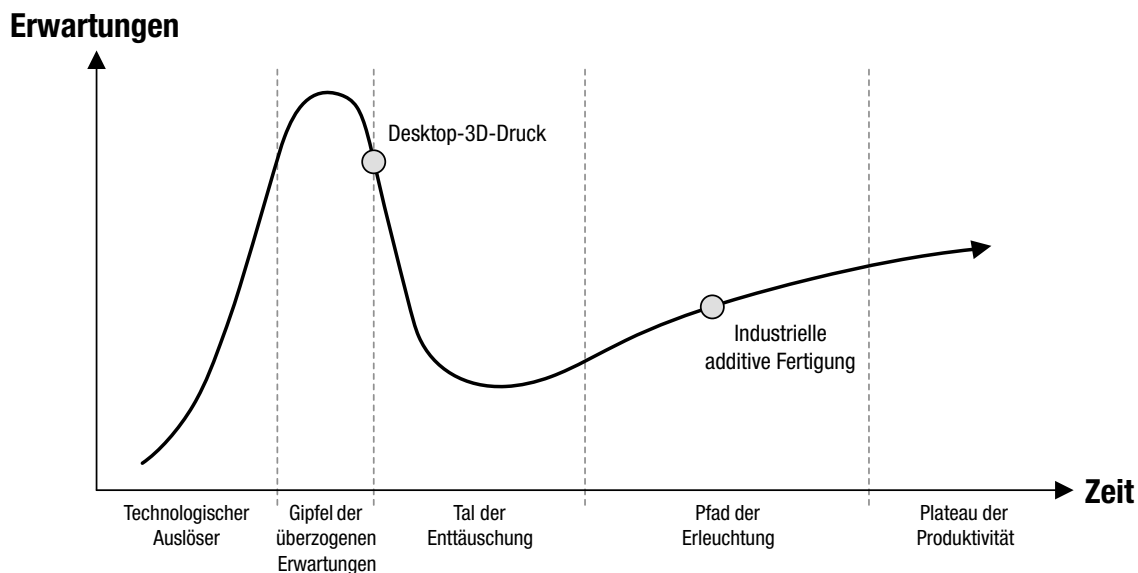


Abbildung 3.4: Hype-Zyklus der additiven Fertigung (Rivera und Van der Meulen, 2015).

Abbildung 3.4 zeigt, dass die Erwartungen an Geräte für den Heimgebrauch derzeit überzogen sind und mit zunehmender Enttäuschung zu rechnen ist, da die derzeit überzogenen Erwartungen schlichtweg nicht erfüllt werden können (Huang et al., 2015; Lachmayer et al., 2016). Ein anderes Bild zeigt sich hingegen bei professionellen Anlagen, wie sie hauptsächlich im industriellen Umfeld eingesetzt werden. Aufgrund des langjährigen Einsatzes in Unternehmen, vor allem im Prototypenbau, ist man sich sowohl der Vorteile als auch der Grenzen der Technologie bewusst und kann sie deshalb gezielt nutzen.

Die bislang mit Desktop-3D-Druckern angesprochenen Kundengruppen sind im Wesentlichen technisch interessierte Innovatoren bzw. „Early Adopters“, d.h., Kunden mit einem hohen Interesse an Innovationen und Vertrauen in die eigenen technischen Fähigkeiten. Für diese Personengruppe stellen neue Technologien bereits einen Wert an sich dar. Im Gegensatz dazu fehlt im Markt noch ein Angebot für die Masse der „Early/Late Majority“, in deren Nutzenwahrnehmung der relative Vorteil einer Innovation, die einfache Bedienung, mögliche Risiken und soziale Normen eine weitaus größere Rolle spielen (Rogers, 2003; Moore, 2014).

Neben den Hardwareherstellern existieren in der Wertschöpfungskette auch zahlreiche Softwarehersteller, deren Produkte mehr oder weniger stark auf additive Fertigung ausgerichtet sind. Die angebotene Software lässt sich grob in die nachfolgenden vier Kategorien unterteilen (Michel, 2012; Berger et al., 2013; Gebhardt, 2014):

- Software zur *Konstruktion und Modellierung* dreidimensionaler Objekte (CAD-Programme).
- Anwendungen zur *Erfassung* dreidimensionaler Körper durch 3D-Scan bzw. Scandaten.
- Softwarewerkzeuge zur *Vorbereitung* von Modelldaten für den Druckprozess („Slicer“).
- Steuerungsclients zur *Konfiguration und Kontrolle* des Fertigungssystems bzw. 3D-Druckers.

Kompetenzen derartiger Unternehmen liegen in der Softwareentwicklung, mit einem Schwerpunkt auf grafischer Datenverarbeitung. Hinzu kommt, je nach Grad der Integration mit der Hardware, auch ein detailliertes Verständnis der Funktionsweise von Fertigungssystemen und der Eigenschaften verschiedener Materialien.

3.1.2 Dienstleister

3D-Druck-Dienstleister bieten die Produktion mittels additiver Fertigung als Dienstleistung an. Teilweise wird diese Basisleistung in Verbindung mit weiteren Services angeboten. Hierzu gehören beispielsweise eine Beratung bei der Konstruktion, eine Prüfung der hochgeladenen Modelle oder eine Nach- bzw. Aufbereitung der additiven Erzeugnisse. Die Marktchancen dieses Services beruhen einerseits auf den hohen Investitionskosten für die Errichtung von Produktionskapazitäten und andererseits auf dem spezifischen Know-how, das für deren Betrieb notwendig ist. Gerade im Bereich des Prototypings ist der Aufbau einer eigenen Produktion für viele kleine und mittelständische Unternehmen nicht sinnvoll, sodass hier oft auf externe Dienstleister zurückgegriffen wird. Die Kompetenzen der Dienstleister umfassen außerdem das Wissen über Materialeigenschaften, Prozesskontrolle in den verschiedenen additiven Fertigungsverfahren sowie Erfahrungswerte aus diversen Anwendungsgebieten. Mittlerweile existiert weltweit eine Vielzahl derartiger Dienstleister (König und Barczok, 2011; König, 2013). Eine wesentliche Herausforderung für 3D-Druck-Dienstleister besteht in den hohen Kosten für die kontinuierliche Erneuerung des Maschinenparks. Hinzu kommt die Tendenz vieler Kunden, mit zunehmender Bedeutung additiver Fertigungstechnologien, entsprechende Kompetenzen in die eigene Organisation zu holen. Ein Beispiel hierfür liefert die Übernahme der Firma Morris Technologies und deren Schwesterfirma Rapid Quality Manufacturing durch GE Aviation. GE verfolgt hiermit das Ziel Einspritzdüsen für die Triebwerks-Generation „LEAP“ selbst zu produzieren (GE Aviation, 2012).

Bedeutende 3D-Druck-Dienstleister mit Sitz in den USA und Europa sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. Die tabellarische Übersicht vermittelt einen Eindruck über die angebotene Materialvielfalt und die Vielzahl unterstützter Dateiformate. Beide Attribute unterstreichen die zuvor beschriebenen Kompetenzen auf dieser Stufe der Wertschöpfungskette.

Tabelle 3.1: Übersicht bedeutender 3D-Druck-Dienstleister (Shapeways, 2016b; i.materialise, 2016; Kraftwurx, 2016; Sculpteo, 2016).

3D-Druck-Dienstleister				
	Shapeways	i.materialise	Kraftwurx	Sculpteo
Firmensitz	New York, USA	Leuven, Belgien	Houston, USA	Vanves, Frankreich
Materialien	ABS, Alumide, Elastomer, Kunstharz, Polyamid	ABS, Alumide, Elastomere, Kunstharz, Polyamid	ABS, Elastomere, Kunstharz, Polyamid	ABS, Alumide, Elastomere, Kunstharz, Polyamid
Metal bzw. Legierung	Aluminium, Bronze, Gold, Kupfer, Messing, Platin, Silber, Stahl	Bronze, Edelstahl, Gold, Kupfer, Silber, Stahl, Titan	Aluminium, Bronze, Edelstahl, Gold, Palladium, Platin	Bronze, Silber
Andere	Farbdruckpulver, Keramik, Wachs	Farbdruckpulver, Keramik, Holz	Farbdruckpulver, Keramik, Papier, Wachs	Farbdruckpulver
Modell				3dm, 3ds, 3mf, ac3d, ase, catpart, cob, dae,
Dateiformat	dae, obj, stl, wrl, x3d	3dm, 3ds, 3mf, dae, fbx, igs, matpart, mgx, model, mxp, obj, ply, prt, stp stl, wrl, x3d	dae, obj, off, ply, qobj, obj, stl, wrl, x3d	dxl, igs, ipt, kmz, lwo, md3, obj, off, ply, q3o, scad, skp, sldprt, step, stl, wrl
max. Abmessungen [mm]	762 × 393 × 393 (Stahl)	2100 × 700 × 800 (Kunstharz)	—	677 × 368 × 565 (Polyamid)

Anmerkung: Die einzelnen Angaben wurden den Internetauftritten der verschiedenen 3D-Druck-Dienstleister am 12.08.2016 entnommen.

3.1.3 Anbieter

Teil der Wertschöpfungskette der additiven Fertigung sind Anbieter dreidimensionaler Modelle. Abbildung 3.5 liefert eine Matrix zur einfachen Kategorisierung der Anbieter und listet beispielhaft jeweils einen Anbieter der entsprechenden Kategorie auf. Unterschieden wird hierbei anhand der beiden Dimensionen Kosten und Verwendung.

		Kosten	
		kostenfrei	kostenpflichtig
Verwendung	3D-Druck	<i>Thingiverse</i>	<i>CreateThis</i>
	Nicht-3D-Druck	<i>GrabCAD</i>	<i>Turbosquid</i>

Abbildung 3.5: Matrix zur Kategorisierung von Anbietern dreidimensionaler Modelle.

Anbieter, deren Inhalte nicht zur additiven Fertigung verwendet werden, existieren bereits seit geraumer Zeit. Die Modelle dieser Anbieter werden vorrangig in der Computergrafik und -animation eingesetzt oder in der computergestützten Fertigung (engl. Computer-Aided Manufacturing (CAM)) und zur Simulation von Bauteilen verwendet (Finite-Elemente-Methode (FEM)). Aus Sicht der semiprofessionellen Anwender bzw. Hobbyisten sind vor allem kostenlose, druckbare Modelle interessant.

3.1.4 Intermediäre

Eine vergleichsweise neue Entwicklung in der 3D-Druck-Branche ist die Entstehung digitaler Online-Plattformen für die Vermittlung von Produktionskapazitäten, das Customizing von Modellinhalten und den Verkauf oder Austausch von 3D-Designs. Wie in Abbildung 3.1 angedeutet, agieren diese Intermediäre als Vermittler zwischen den klassischen Parteien und dem Endkunden (Kaufmann, 2015; Rayna und Striukova, 2016a). Auf diese Weise reduzieren sie aus Sicht der Endkunden die

Komplexität am Markt und bieten Lösungen „aus einer Hand“ (Bakos, 1991). Mit zunehmender Größe einer Plattform machen sich positive Skaleneffekte bemerkbar und der Netzwerkeffekt, den die Plattform auf bestehende und neue Endkunden ausübt, kommt zum Tragen (Shapiro und Varian, 1999). Aus Sicht der kommerziellen Hersteller, Anbieter und Dienstleister sind Intermediäre interessante Partner, da diese neue Kundensegmente erschließen.

Von einigen wenigen Innovatoren, wie dem Philips-Spin-Off Shapeways oder der Internet-Plattform Thingiverse, abgesehen, waren es in den vergangenen zwei Jahren vor allem zahlreiche kleine Internet-Startups, die sich als Intermediäre in einem zunehmend komplexeren Markt zu etablieren versuchten. Dabei unterscheiden sich die bislang bekannten Plattformen in verschiedener Hinsicht. Dies betrifft einerseits das adressierte Kundensegment (Consumer vs. Business), andererseits den Leistungsumfang (Druckdienst, Modellkatalog, Scanservice, usw.). Die überwiegende Mehrheit der bisherigen Angebote fokussiert Endkonsumenten und stellt eine möglichst einfache Benutzung der Plattform, einen umfangreichen Katalog und die Verfügbarkeit verschiedener Materialien in den Vordergrund. Allen bisher bekannten Intermediären ist gemein, dass keine belastbaren Daten zu Umsatz und Profitabilität vorliegen. Dementsprechend kann noch keine Aussage zur Tragfähigkeit derartiger Geschäftsmodelle getroffen werden. Ebenso sind die Regeln, nach denen der Consumer-Markt funktioniert, noch nicht hinreichend bekannt.

3.2 Geschäftsmodelle

Bedeutende unternehmerische Erfolgsgeschichten des letzten Jahrzehnts, insbesondere im Bereich des E-Business, lassen sich immer weniger auf einzelne Produkte zurückführen, sondern basieren auf innovativen Geschäftsmodellen (Chesbrough, 2007; Teece, 2010; Gassmann et al., 2013). Der Umfang, das Ausmaß und die Geschwindigkeit, in der erfolgreiche Geschäftsmodellinnovationen ganze Industrien verändert haben, sind immens (Osterwalder und Pigneur, 2010; Hinssen, 2015; Hoffmann et al., 2016). Nicht zuletzt deshalb ist das Themenfeld verstärkt in den Fokus von Wissenschaftlern und Praktikern gerückt (Magretta, 2002; Zott et al., 2011).

3.2.1 Definition und Visualisierung

Trotz der Bedeutung, die Geschäftsmodellen attestiert wird, existiert bisher keine allgemein anerkannte Definition. Auch über die eigentlichen Bestandteile eines Geschäftsmodells herrscht Uneinigkeit (Zimmermann und Alt, 2001; Magretta, 2002; Teece, 2010; Zott et al., 2011; DaSilva und Trkman, 2014; Landau et al., 2016). Zahlreiche Literaturanalysen und Gegenüberstellungen verschiedener Autoren verdeutlichen diesen Umstand (Zimmermann und Alt, 2001; Magretta, 2002; Hedman und Kalling, 2003; Shafer et al., 2005; Baden-Fuller und Morgan, 2010; Teece, 2010; Burkhart et al., 2011; Zott et al., 2011; DaSilva und Trkman, 2014).

In aller Regel dient ein Geschäftsmodell dazu, die aktuellen Tätigkeiten einer Firma zu beschreiben (Gassmann et al., 2013). Gassmann et al. (2013) nutzen hierfür vier Dimensionen: Kunde, Nutzenversprechen, Wertschöpfungskette und Ertragsmechanik. Die daraus abgeleitete Visualisierung, das „magische Dreieck“ (Gassmann et al., 2013, S. 6), ist in Abbildung 3.6 dargestellt.

In Hinblick auf die angesprochene Vielzahl an Definitionen und Erklärungsversuchen formulieren Shafer et al. (2005) auf Basis bestehender Konzepte eine neue, integrierte Definition. Demnach beschreibt ein Geschäftsmodell die Kernlogik und die strategische Ausrichtung eines Unternehmens, um innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks Wert zu erzielen und zu sichern (Shafer et al., 2005).

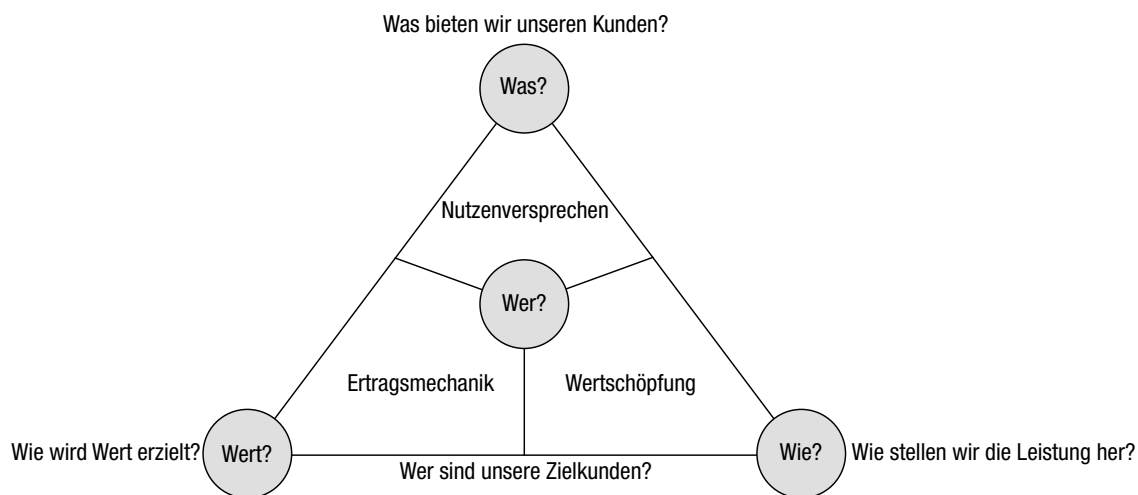


Abbildung 3.6: Die vier Dimensionen eines Geschäftsmodells im „magischen Dreieck“ (Gassmann et al., 2013).

Geschäftsmodelle sind, wie deren Name impliziert, Modelle und stellen vereinfachte Abbildungen von realen Strukturen dar (Baden-Fuller und Morgan, 2010; Hinnen et al., 2016). Unterschiedliche Ausprägungen eignen sich beispielsweise, um Unternehmen zu beschreiben und zu klassifizieren (Baden-Fuller und Morgan, 2010). Um Geschäftsmodelle zu entwickeln, zu diskutieren und zu visualisieren haben sich Modelle zur einfachen, interaktiven Skizzierung durchgesetzt (Gassmann et al., 2013). Das in der Praxis wohl populärste Hilfsmittel dieser Art ist der sogenannte Business Model Canvas (BMC) (Osterwalder, 2004; Fritscher und Pigneur, 2010; Osterwalder und Pigneur, 2010).

Einen anderen Ansatz verfolgt das „Business Model Kit“, das auf 16 unterschiedlichen Bausteinen basiert, die die einzelnen Komponenten eines Geschäftsmodells, wie beispielsweise Kunden, Zulieferer oder Dienstleistungen, symbolisieren (Board of Innovation, 2016). Der modulare Ansatz mit einfach zu erfassenden, bildhaften Bausteinen eignet sich insbesondere, um unterschiedlich komplexe Modelle zu dokumentieren. Darüber hinaus ist es ohne großen Aufwand möglich Varianten bestehender Modelle zu entwickeln und zu diskutieren (Board of Innovation, 2016). Aufgrund der Stärken dieses Baukastenprinzips wird das Business Model Kit als Modellierungswerkzeug für die im Folgenden beschriebenen Online-Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung herangezogen.

3.2.2 Online-Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung

Am Markt existieren zahlreiche E-Business-Start-ups, die unterschiedliche Geschäfts- bzw. Erlösmodelle verfolgen. Diese Geschäftsmodelle sollen im Folgenden systematisch erläutert werden. Grundsätzlich lassen sich die Modelle anhand zweier wesentlicher Kriterien unterscheiden:

- *Inhalte*
Abgesehen von reinen Anbietern oder Vermittlern von 3D-Druck als Dienstleistung existieren verschiedene Plattformen, die 3D-Modelle kostenfrei oder zum Kauf anbieten.
- *Produktion*
Mit Ausnahme reiner Modellkataloge erlauben die meisten Plattformen dem Kunden entweder eine Produktion von 3D-Modellen über eigene Fertigungsanlagen oder vermitteln den Auftrag zur additiven Fertigung an Partner weiter.

Aus der Kombination dieser beiden Kriterien ergibt sich eine Typologie möglicher Geschäftsmodelltypen, die in Tabelle 3.2 zusammengefasst ist. In den weiteren Unterabschnitten werden die eingeführten Geschäftsmodelltypen genauer beleuchtet.

Tabelle 3.2: Typologie möglicher Geschäftsmodelltypen.

Typ	Kriterien			
	Inhalte		Produktion	
	eigen	fremd	eigen	fremd
Eigene Inhalte	✓			
Modellkatalog		✓		
Druckdienstleister			✓	
Servicebroker				✓
Onlineshop	✓			✓
Integrierte Plattform	✓		✓	
2-seitiger Markt		✓	✓	
3-seitiger Markt		✓		✓

3.2.2.1 Eigene Inhalte

Das Modell beruht ausschließlich auf der Erstellung und dem Angebot eigener 3D-Modelle, ohne die Option, diese auch zu fertigen (vgl. Abbildung 3.7). Modelle dieser Art sind vereinzelt im Bereich der Computergrafik und -animation zu finden, wo 3D-Inhalte, beispielsweise für die Nutzung in Computerspielen, erstellt und vertrieben werden. Ein entsprechendes Äquivalent – abgesehen von Hobbyisten, die einzelne Modelle auf ihrer Webseite zum Download bereitstellen – existiert im Bereich der additiven Fertigung bislang nicht.

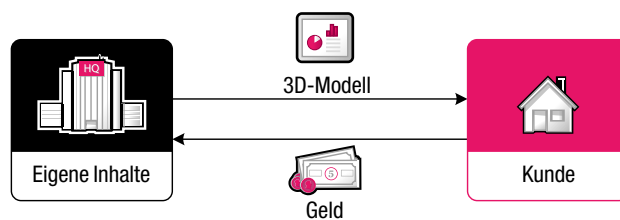


Abbildung 3.7: Geschäftsmodelltyp: Eigene Inhalte.

3.2.2.2 Modellkatalog

Modellkataloge stellen, teils kostenlos, teils kostenpflichtig, 3D-Modellinhalte Dritter zur Verfügung (vgl. Abbildung 3.8). Ähnlich dem zuvor vorgestellten Modell ist dieses Geschäftsmodell bereits aus der Computeranimationsbranche bekannt und dort verbreitet. Im Bereich der additiven Fertigung existiert bislang jedoch kein nennenswert etablierter, kommerzieller Anbieter und eine Überlappung mit Plattformen für Animationsmodelle ist momentan nicht erkennbar.

Bekanntester Vertreter im Bereich nicht-kommerzieller Designs für den 3D-Druck ist die Online-Plattform und -Community Thingiverse der Firma MakerBot (Baichtal, 2008; Evans, 2012; Horsch, 2013; Nitz, 2014; Alcock et al., 2016; West und Kuk, 2016). Die Modelle werden meist von unabhängigen Designern erstellt und als STL-Dateien auf der Plattform hochgeladen bzw. veröffentlicht. Teilweise unterstützen die verfügbaren Modellkataloge den Benutzer bei der Individualisierung der Modelle (z. B. Thingiverse Customizer). Die Plattform selbst verfolgt kein eigenes Erlösmodell, sondern wird von MakerBot zur Förderung des Absatzes der firmeneigenen Desktop-3D-Drucker betrieben.

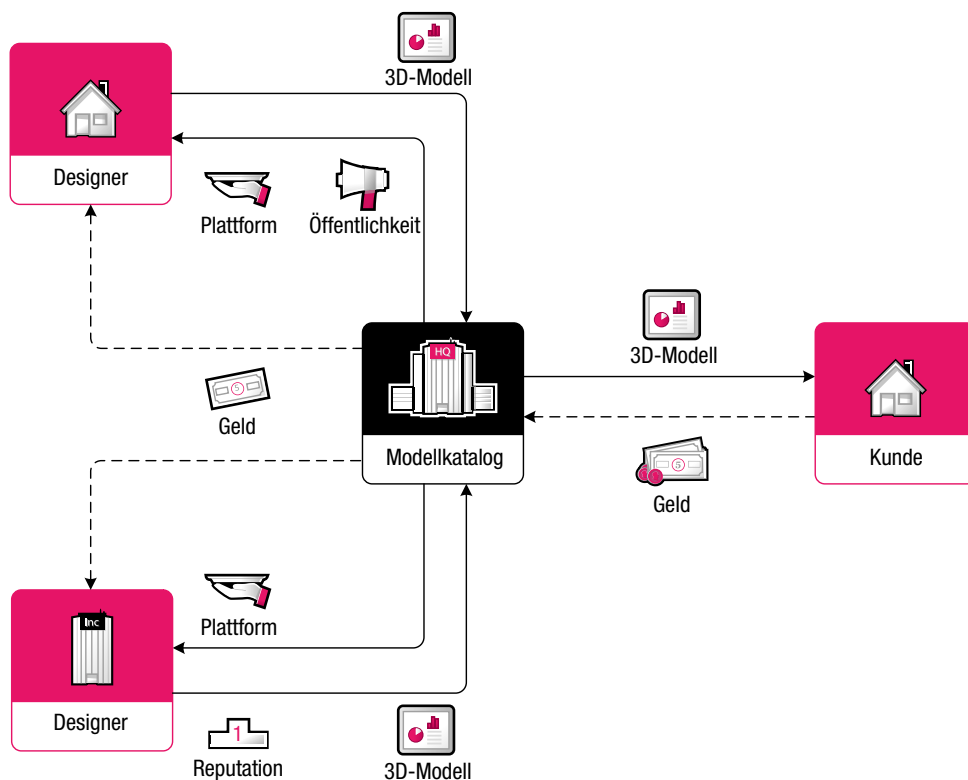


Abbildung 3.8: Geschäftsmodelltyp: Modellkatalog.

3.2.2.3 Druckdienstleister

Ein Spezialfall im Bereich der Internetplattformen sind auch die in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen 3D-Druck-Dienstleister, die in vielen Fällen über eigene Webportale verfügen, über die Fertigungsaufträge erteilt werden können. Teilweise ergänzen die Dienstleister ihre Basisleistung um weitere Services, wie beispielsweise eine Überprüfung des beauftragten 3D-Modells auf Machbarkeit (vgl. Abbildung 3.9). Der Wettbewerb im Bereich der Dienstleister erfolgt derzeit noch in einem geringen Maß über den tatsächlichen Preis. Im Vordergrund stehen hier die Verfügbarkeit von und die Erfahrung mit einzelnen additiven Fertigungsverfahren und -prozessen sowie Materialien.

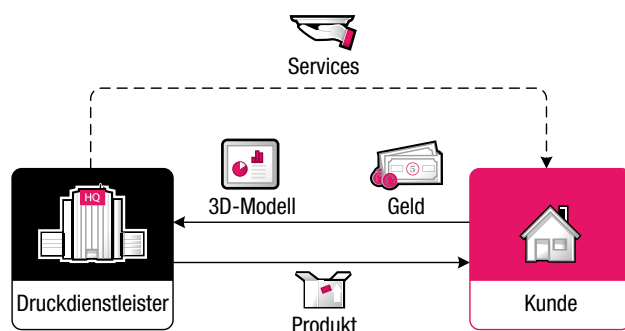


Abbildung 3.9: Geschäftsmodelltyp: Druckdienstleister.

3.2.2.4 Servicebroker

Das Geschäftsmodell der Servicebroker besteht vorrangig in der Vermittlung fremder Fertigungskapazitäten. Modellinhalte wiederum gehören hierbei nicht zum Leistungsangebot (vgl. Abbildung 3.10).

Der Kunde stellt dem Broker ein eigenes 3D-Modell zur Verfügung. Auf Basis einer automatisierten Analyse kann der Broker daraufhin potentielle Dienstleister finden, vergleichen und vermitteln. Die Vermittlung kann entweder transparent (Dienstleister werden explizit genannt) oder intransparent (Servicebroker als virtueller Dienstleister) ablaufen. Erteilt ein Kunde einen Auftrag, wird der Servicebroker mit einer fixen und/oder variablen Transaktionsgebühr beteiligt.

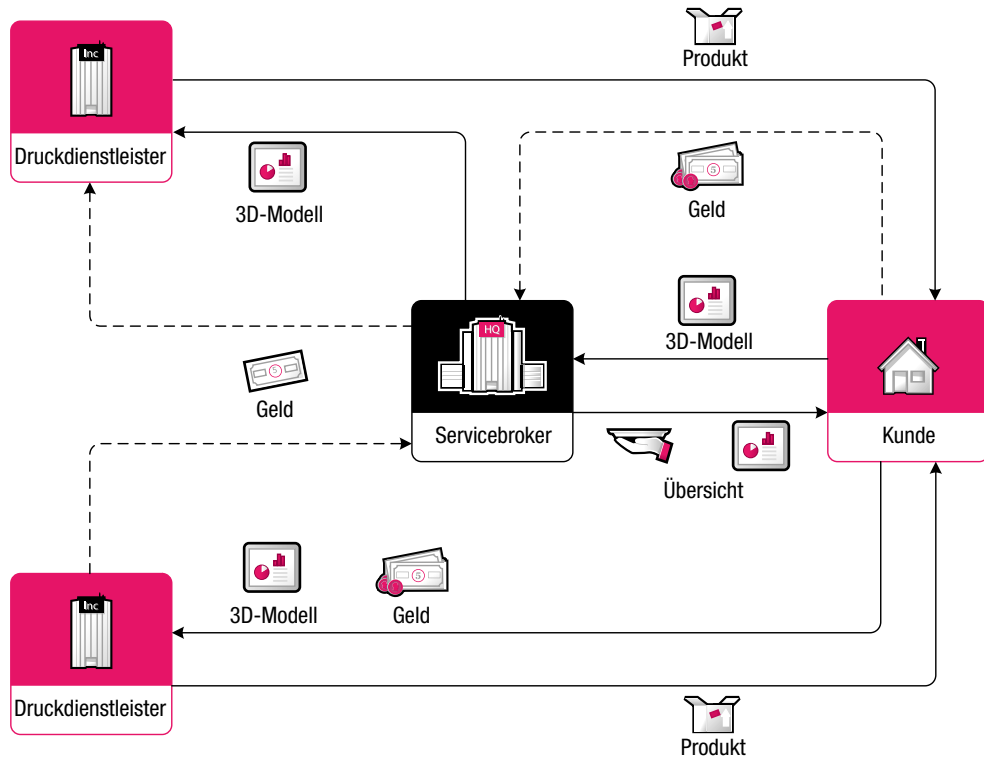


Abbildung 3.10: Geschäftsmodelltyp: Servicebroker.

3.2.2.5 Onlineshop

Analog zum traditionellen Druckdienstleister, kann der Kunde in einem Onlineshop Modelle in Auftrag geben bzw. bestellen. In diesem Modell besteht für den Kunden allerdings keine Möglichkeit eigene Modelle hochzuladen. Der Kunde ist auf die vorgegebenen Inhalte des Anbieters beschränkt, welche, im Gegensatz zu Modellkatalogen, durch den Betreiber des Shops eingepflegt werden (vgl. Abbildung 3.11).

Den Bestellprozess erlebt der Benutzer in ähnlicher Weise wie bei herkömmlichen Onlineshops im Internet, wobei allerdings mehr oder weniger umfangreiche Möglichkeiten zur Individualisierung der Objekte bestehen (z. B. Farbe, Materialauswahl oder Größe). Am Ende des Prozesses steht die Erteilung eines Fertigungsauftrags an den Betreiber des Shops. Die Fertigung an sich wird im reinen Onlineshop ausgelagert. Der Erlös wird, wie beim klassischen Dienstleister, ebenfalls über die Fertigung realisiert, wobei der Modellkatalog ein zusätzliches Differenzierungsmerkmal darstellt.

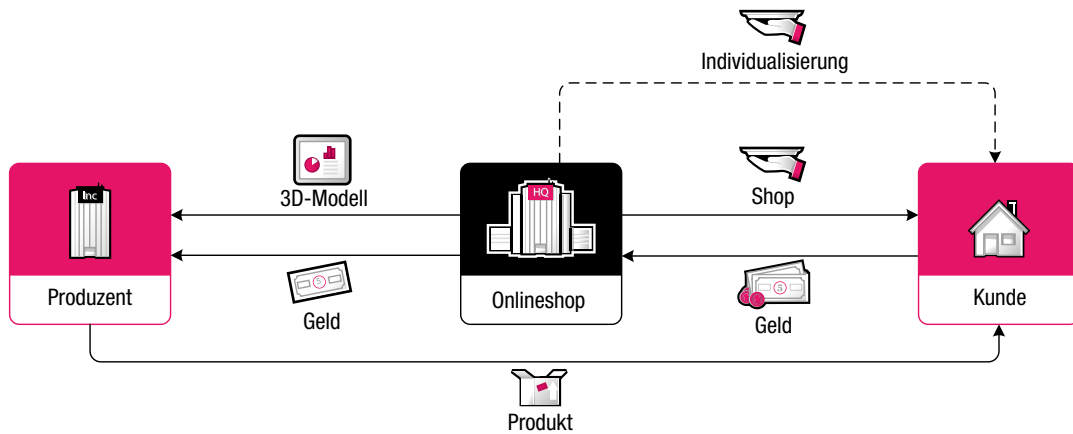


Abbildung 3.11: Geschäftsmodelltyp: Onlineshop.

3.2.2.6 Integrierte Plattform

Die integrierte Plattform stellt eine Variante des Onlineshops dar, in der der Betreiber als Full-Service-Provider (FSP) auftritt und neben eigenen Modellinhalten auch selbst die notwendigen Produktionskapazitäten vorhält (vgl. Abbildung 3.12). Ein derartiger Anbieter existiert am Markt derzeit nicht.

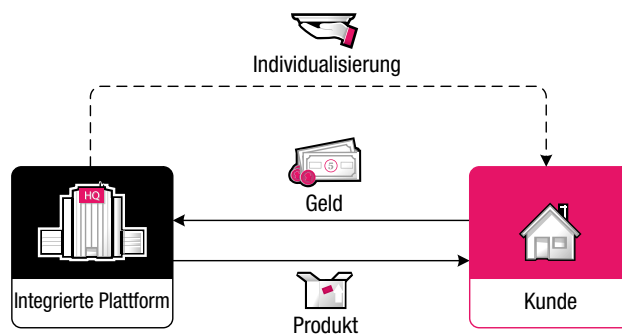


Abbildung 3.12: Geschäftsmodelltyp: Integrierte Plattform.

3.2.2.7 2-seitiger Markt

Analog zum konventionellen Onlinehandel haben sich auch im Bereich der additiven Fertigung erste Anbieter positioniert, die nicht dem Shop-Modell, sondern dem Modell eines 2-seitigen bzw. mehrseitigen Marktplatzes folgen (Rochet und Tirole, 2003; Eisenmann et al., 2006; Rochet und Tirole, 2006). Die Funktionalität von Modellkatalogen wird hier mit der Möglichkeit, Modelle in einem integrierten Prozess herstellen zu lassen, kombiniert. Bei dieser Variante ermöglicht die Plattform einer Vielzahl

von externen Contentanbietern Inhalte anzubieten, wobei der Betreiber gleichzeitig die Fertigung der Modelle übernimmt (vgl. Abbildung 3.13). Das Erlösmodell des Betreibers des 2-seitigen Marktplatzes beruht auf einer transaktionsabhängigen Vergütung.

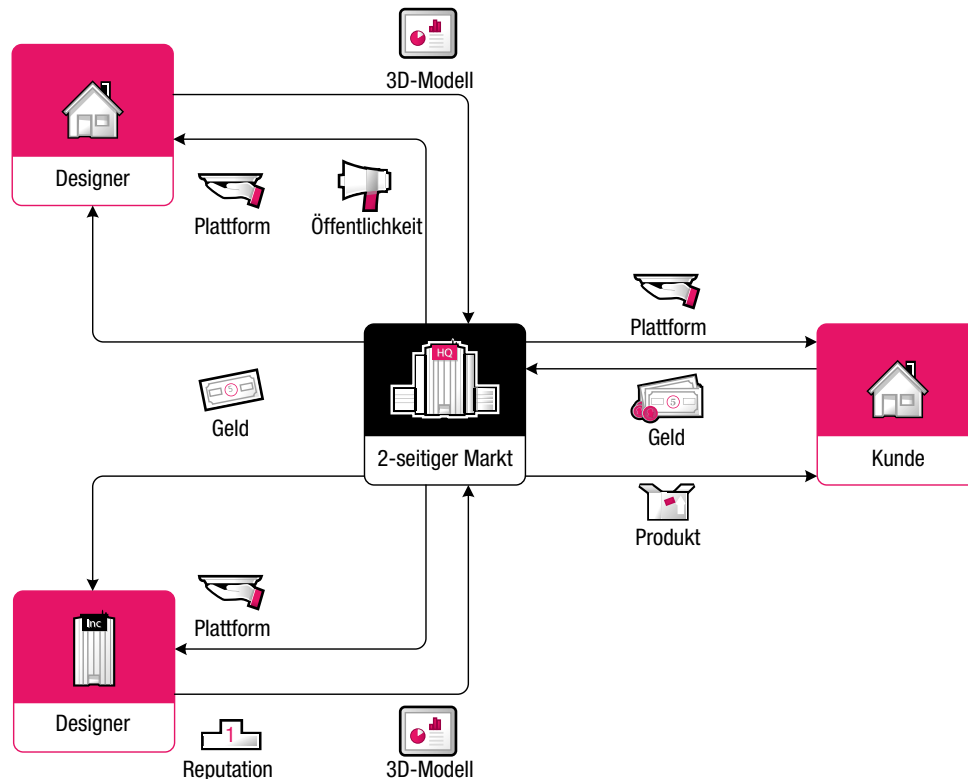


Abbildung 3.13: Geschäftsmodelltyp: 2-seitiger Markt.

Der bekannteste Vertreter dieses Modells ist die US-amerikanische Firma Shapeways (Bull und Groves, 2009; Strickland, 2013; Fastermann, 2014; Nitz, 2014). Diese kalkuliert einen festen Preis pro Modell, der für die Fertigung anfällt. Der jeweilige Designer hat anschließend die Möglichkeit einen frei wählbaren Aufschlag festzusetzen. Von diesem Aufschlag behält Shapeways im Falle einer Bestellung 3,5 % Transaktionsgebühren ein. Die restlichen 96,5 % des festgelegten Aufschlags gehen an den jeweiligen Designer (Shapeways, 2016g,f).

3.2.2.8 3-seitiger Markt

3-seitige Marktplätze besitzen weder eigene Inhalte noch Produktionskapazitäten. Durch die Kooperation mit Partnern bieten 3-seitige Marktplätze dem Kunden – zumindest in der Theorie – eine breite Auswahl an Modellen und potentiellen

Dienstleistern (vgl. Abbildung 3.14). Analog zum Modell des Servicebrokers erfolgt die Vermittlung der Produktion transparent oder intransparent. Auch dieses Geschäftsmodell basiert auf Vermittlungsprovisionen. Ein Beispiel für einen solchen Marktplatz ist das Angebot der US-amerikanischen Firma Kraftwurx (König, 2013).

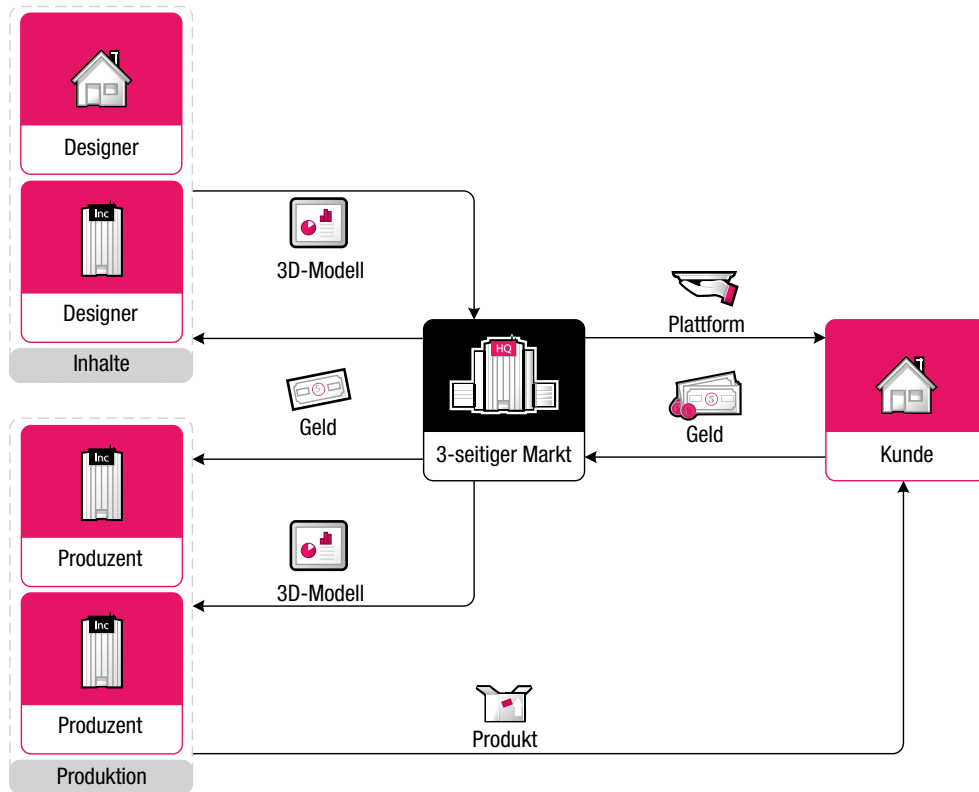


Abbildung 3.14: Geschäftsmodelltyp: 3-seitiger Markt.

3.3 Wirtschaftliche Potentiale

In einer für eine Fertigungstechnologie völlig ungewöhnlichen Art und Weise werden additive Fertigungsverfahren bis in die Massenmedien hinein diskutiert (Kuhn, 2011; Rosenbach und Schulz, 2012; Hurst, 2013; Strassmann, 2014). Zahlreiche Berichterstatter und Kommentatoren gehen davon aus, dass die additive Fertigung zu massiven Veränderungen in betrieblichen Prozessen führen wird – bis hin zu einer neuen industriellen Revolution (Markillie, 2012; Schmid, 2013; D’Aveni, 2015; Schiffler, 2015). So könne beispielsweise die Produktion aus den Fabriken heraus zu einer Vielzahl dezentral verteilter 3D-Drucker in die Privathaushalte verlagert

werden (Gershenfeld, 2005; Malone und Lipson, 2007; Anderson, 2012). Eine etwas konkretere, aber nichtsdestoweniger hohe Erwartung ist, dass die Verbreitung der additiven Fertigungstechnologie die Rolle Chinas als „Werkbank der Welt“ schwächen und so zu einer Rückverlagerung von Arbeitsplätzen in der Fertigung in die Hochlohnländer führen könne (Markillie, 2012; Lipson und Kurman, 2013; Obama, 2013; Feldmann und Pumpe, 2016). Motiviert werden derartige Erwartungen durch eine Reihe technischer Charakteristika, durch die sich additive von traditionellen Fertigungsverfahren differenzieren.

3.3.1 Charakteristika

Additive Fertigungsverfahren unterscheiden sich durch eine Reihe technischer Charakteristika von traditionellen subtraktiven Verfahren, wie beispielsweise dem Bohren, Drehen oder Fräsen, die bereits in Abschnitt 2.2 näher vorgestellt wurden. Die Konzeptmatrix (Webster und Watson, 2002; vom Brocke et al., 2009) in Tabelle 3.3 zeigt eine Übersicht technischer Merkmale und Eigenschaften und gibt Aufschluss über deren Erwähnung und Beschreibung in der Literatur.

Tabelle 3.3: Konzeptmatrix zu Charakteristika der additiven Fertigung in der Literatur.

Charakteristik	Referenz											
	Berger et al. (2013)	Berman (2012)	Breuninger (2013)	Fastermann (2012)	Fastermann (2014)	Gebhardt (2007)	Gebhardt (2014)	Gibson et al. (2010)	Hausman (2014)	Klocke (2015)	Thompson et al. (2016)	Zhai et al. (2014)
Individualisierung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Designfreiheit	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Geschwindigkeit		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lieferkette		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Funktionalität	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ressourcenverbrauch		✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓
Rüstkosten		✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓

Die Analyse der Literatur hat außerdem ergeben, dass unterschiedliche Begriffe bzw. Termini teils synonym verwendet werden. Die Übersicht in Tabelle 3.4 listet diese auf.

Tabelle 3.4: Übersicht synonym verwendeter Charakteristika.

Individualisierung	Designfreiheit
kundenindividuelle Fertigung	komplexe Geometrien
Kleinserie	integrierte Geometrie
Einzelstück	Geometriefreiheit
Mass Customization (MC)	keine fertigungsbedingten Konstruktionen
personalisierte Fertigung	spielfreie Ausführung
Variantenvielfalt	
individualisierte Massenfertigung	
Geschwindigkeit	Lieferkette
Rapid Prototyping	Demokratisierung der Produktion
Produktlebenszyklus	Reduktion der Lagerhaltung
moderne Produktentwicklungsstrategien	persönliche Fertigung
kurze Entwicklungszeit	verteilte Produktion
schnelle Anpassung der Produktion	Co-Produktion
Time to Market (TTM)	kürzere Lieferzeiten
von der Konstruktion bis zur Fertigung	Product-on-Demand
Funktionalität	Ressourcenverbrauch
integrierte Funktionalität	Nachhaltigkeit
Wegfall von Montageschritten	Product-on-Demand
gebrauchsfertige Produktion	Rüstkosten
Multi-Material-Bauteile	ohne Werkzeuge
anisotropes Werkstoffverhalten	keine bauteilabhängigen Werkzeuge
mehrere Funktionen in einem Arbeitsgang	geringere Rüstkosten

Im Anschluss werden die identifizierten technischen Charakteristika der additiven Fertigung vor dem Hintergrund damit verbundener wirtschaftlicher Potentiale näher erläutert.

3.3.1.1 Vorteile

Aus den technischen und verfahrensspezifischen Charakteristika der Technologie lassen sich unterschiedliche Vorteile bzw. Potentiale ableiten. Diese Vorteile werden nachfolgend beschrieben:

- *Individualisierung*

Das in Abschnitt 2.1 detailliert beschriebene Funktionsprinzip der additiven Fertigung basiert stets auf einem CAD-Modell, das vom System werkzeuglos, generativ erzeugt wird. Aus diesem Grund ist es möglich, im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren, mit relativ geringem zusätzlichen Aufwand deutlich mehr Varianten anzubieten (Tuck et al., 2008; Pallari et al., 2010; Cole, 2015; Feldmann und Pumpe, 2016; Ford et al., 2016; Mohajeri et al., 2016). Somit wird eine wirtschaftliche Produktion von Kleinserien bis hin zu Einzelstücken möglich (Petrovic et al., 2011; Reeves et al., 2011; Gershenfeld, 2012; Banks, 2013; Bogers et al., 2016; Thompson et al., 2016; Zhang et al., 2017). Speziell in Bezug auf Endkunden ergibt sich durch die additive Fertigung die Möglichkeit einer kundenindividuellen bzw. personalisierten Massenfertigung (engl. mass customization (MC)) (Davis, 1989; Pine, 1993; Gilmore und Pine, 1997; da Silveira et al., 2001; Duray, 2002; Gräßler, 2004; Piller, 2004, 2008).

- *Designfreiheit*

Die additive Fertigung ermöglicht aufgrund des schichtweisen Aufbaus der zu fertigenden Objekte eine höhere Freiheit in der Konstruktion bzw. Fertigung. Da keine fertigungsbedingten Hilfskonstruktionen mehr notwendig sind, gewinnt man zusätzliche Gestaltungsfreiheit, die es erlaubt komplexe Geometrien direkt zu integrieren (Hague, 2006; Grzesiak et al., 2011; Petrovic et al., 2011; Cole, 2015; Weller et al., 2015; Gardan, 2016; Thompson et al., 2016). Ermöglicht werden hierdurch, auch im Hinblick auf Gewicht und Robustheit, optimierte Konstruktionen (Emmelmann et al., 2011; Manfredi et al., 2013; Ford et al., 2016; Swenson, 2016).

- *Geschwindigkeit*

Aufgrund der hohen realisierbaren Geschwindigkeit, die von der Konstruktion bis zur eigentlichen Fertigung erzielt werden kann, tragen die Anwendungen oftmals den Zusatz „Rapid“ (vgl. Abschnitt 2.2) (Gebhardt, 2007; Matison, 2015; Scott, 2016). Über die Fertigung von Prototypen hinaus ermöglicht die

Nutzung innovativer Produktentwicklungsstrategien kurze Markteinführungszeiten (TTM) und flexible Produktlebenszyklen (Petrovic et al., 2011; Cole, 2015; Dietz, 2015; Quitter, 2015).

- *Lieferkette*

Eine additive Fertigungsanlage stellt ein vollständiges Produktionssystem dar. Anstelle einer Sequenz hochspezialisierter Fertigungsschritte wird das zu fertigende Objekt in einem einzigen Produktionsschritt innerhalb einer Maschine hergestellt. Im Gegensatz zur tayloristisch-organisierten Fabrik (Hebeisen, 1999; Taylor und Roesler, 2011) erfordert ein additives Fertigungssystem daher keine örtliche Konzentration von Produktionskapazitäten, sondern ist weitgehend ortsungebunden und dementsprechend auch dezentral und auf Anforderung einsetzbar (Wittbrodt et al., 2013; Khajavi et al., 2014; Birtchnell und Urry, 2013). Endkunden ermöglicht die Technologie eine unabhängige, ökonomische, persönliche Fertigung, weshalb in diesem Zusammenhang auch von einer „Demokratisierung der Produktion“ gesprochen wird (Bull und Groves, 2009; Mota, 2011; Gershenfeld, 2012; Birtchnell und Urry, 2013; Cole, 2015; Ihl und Piller, 2016; Yves et al., 2016).

- *Funktionalität*

Additive Fertigungsverfahren erlauben den Verzicht auf einzelnen Montageschritte und ermöglichen hierdurch eine gebrauchsfertige Produktion. Komplexe, aus mehreren Komponenten bestehende Objekte können in einem einzigen Arbeitsgang gefertigt werden (Klemp, 2011; Weller et al., 2015; Thompson et al., 2016). Darüber hinaus ist es möglich gezielt Funktionalität zu integrieren und Multi-Material-Bauteile herzustellen, die ein anisotropes Werkstoffverhalten an den Tag legen (Calì et al., 2012; Symes et al., 2012; Angrish, 2014). Insgesamt orientiert sich das Design zu einem höheren Grad an der eigentlichen Funktion als an fertigungsbedingten Einschränkungen.

- *Ressourcenverbrauch*

Die additive Fertigung ermöglicht einen verringerten Energie- und Ressourcenverbrauch und reduziert hierdurch CO₂-Emissionen, was insgesamt betrachtet zu mehr Nachhaltigkeit in der Produktion führt (Diegel et al., 2010; Gebler et al., 2014). Exemplarische Untersuchungen weisen darauf hin, dass vor allem durch die Einsparung von Material eine höhere Ressourceneffizienz erzielt

werden kann (Kreiger und Pearce, 2013; Kai et al., 2016). Nicht zu vernachlässigen sind außerdem nachgelagerte Einsparungspotenziale infolge optimierter Bauteile, beispielsweise in der Luft- und raumfahrt (EOS GmbH, 2014; Huang et al., 2016).

- *Rüstkosten*

Traditionelle Verfahren setzen voraus, dass die eingesetzten Anlagen vor Beginn der Produktion für den jeweiligen Arbeitsvorgang eingerichtet und mit den erforderlichen Werkzeugen bestückt werden. Da die jeweiligen Maschinen während des Rüstvorgangs nicht genutzt werden können, ziehen entsprechende Ausfallzeiten hohe Kosten nach sich. Im Gegensatz dazu generieren additive Fertigungssysteme – ohne Notwendigkeit eines derartigen Rüstens – direkt aus dem digitalen Modell heraus (Petrovic et al., 2011; Berman, 2012; Dietz, 2015). Infolgedessen fallen Füge- und Montageoperationen weg und die Gesamtdurchlaufzeit in der Produktion wird reduziert. Da keinerlei bauteilspezifische Werkzeuge benötigt werden, ist es irrelevant, ob ein Teil mehrfach in identischer Form gefertigt wird oder verschiedene Varianten je ein einziges Mal (Weller et al., 2015).

3.3.1.2 Nachteile

Die zuvor beschriebenen Vorteile, wie beispielsweise hohe Freiheitsgrade bei der Geometrie, gehen mit spezifischen Nachteilen einher. Für eine objektive Beurteilung und Bewertung der Technologie ist es deshalb wichtig, sich die im Folgenden aufgeführten Nachteile bzw. Einschränkungen bewusst zu machen:

- *Geschwindigkeit*

Die hohe Geschwindigkeit bezieht sich auf Kleinserien bzw. Einzelstücke mit einem hohen Individualisierungsgrad bzw. mit einer komplexen Geometrie (Gebhardt, 2007; Gibson et al., 2015). Insbesondere bei einfachen Massenprodukten, ohne nachträgliche Anpassungen, sind traditionelle Verfahren wie Spritzgießen oder Hochgeschwindigkeitszerspannung (HGZ) in puncto Geschwindigkeit deutlich überlegen (Holweg, 2015; Feldmann und Pumpe, 2016).

- *Genauigkeit und Oberflächengüte*

Additive Fertigungsprozesse lassen sich nur bedingt automatisieren und sind zudem diskontinuierlich. Außerdem ist die Genauigkeit und Oberflächengüte

im Vergleich zu subtraktiven Verfahren deutlich niedriger. Aus diesen Gründen sind in aller Regel vor- und nachgelagerte, oftmals manuelle, Prozessschritte für die Entnahme, Reinigung und Qualitätskontrolle notwendig (Gebhardt, 2007; Gibson et al., 2015; Holweg, 2015; Weller et al., 2015).

- *Materialien*

Auch hinsichtlich der verfügbaren Materialien kann die additive Fertigung nicht mit konventionellen Fertigungsverfahren konkurrieren (Gibson et al., 2015; Weller et al., 2015). Die Verarbeitung hochfester Kunststoffe aus der Gruppe der Polyimide (PI) oder Kupfer, auf Seiten der Metalle, konnte noch nicht zur Marktreife gebracht werden (Gebhardt, 2014). Darüber hinaus sind die verfügbaren Materialien oftmals um ein Vielfaches teurer als vergleichbare im herkömmlichen Fertigungsprozess (Gebhardt, 2007). Dies ist durch den von Anlagenherstellern eingeschränkten und teils monopolisierten Bezug von Verbrauchsmaterial vielfach künstlich bedingt.

- *Kosten*

Die eingeschränkte Materialauswahl sowie die manuellen Prozessschritte verursachen teils hohe fixe und variable Kosten. Daraus folgt, dass die Eignung additiver Verfahren stets vom zu fertigenden Produkt abhängig ist und dementsprechend für den jeweiligen Anwendungsfall beurteilt werden muss (Gebhardt, 2007; Angrish, 2014; Gibson et al., 2015; Holweg, 2015).

- *Know-how*

Der Betrieb, die Wartung und Instandhaltung der Anlagen sowie die Prüfung und Nachbearbeitung der gefertigten Produkte erfordert spezielles Know-how (Gebhardt, 2007; Holweg, 2015; Duchêne et al., 2016). Problematisch hierbei ist, dass sich „fertigungsgerechtes Konstruieren“, wie es in der schulischen und universitären Ausbildung üblicherweise vermittelt wird, an den traditionellen subtraktiven und formativen Verfahren orientiert (Rothley, 1991; Geupel, 2001; Krahn und Storz, 2014; Uppala und Ankem, 2017). Die durch die additive Technologie gewonnene Designfreiheit wird dabei schlichtweg vernachlässigt. Bei der Konstruktion und Entwicklung ist deshalb spezielles Know-how bzw. ein *Umdenken* erforderlich. In den vergangenen Jahren hat dies erstmals Einzug in Ausbildung und Lehre gefunden (Klemp, 2011; Dietz, 2015; Huang et al., 2015; Iivari et al., 2016; Thompson et al., 2016).

3.3.2 Potentiale

Die hohen Erwartungen in Bezug auf wirtschaftliche Potentiale basieren im Wesentlichen auf den zuvor beschriebenen fundamentalen Unterschieden zwischen additiven und traditionellen Fertigungs- bzw. Produktionsverfahren (vgl. Abschnitt 2.1 und 2.2) sowie den charakteristischen Vorteilen der Technologie (vgl. Abschnitt 3.3.1.1). Um die Potentiale zu identifizieren und anschließend zu evaluieren, ist es notwendig, sich zunächst mit dem Gestaltungsspielraum von Fertigungssysteme auseinanderzusetzen. Fertigungssysteme zur Produktion physischer Güter können grundsätzlich anhand zweier wesentlicher Merkmale unterschieden werden:

- *Effizienz*

Die Effizienz eines Fertigungssystems kann mithilfe einer Vielzahl von Leistungsindikatoren beschrieben werden. Zu diesen Indikatoren zählen beispielsweise die Durchlaufzeit und die variablen Kosten. Hocheffiziente Fertigungsprozesse werden in aller Regel mittels standardisierter Designs und Prozesse erreicht, die gleichzeitig mit einem hohen Grad an Automatisierung einhergehen (Skinner, 1966; Hayes und Wheelwright, 1984; Hounshell, 1984; Skinner, 1985).

Ein Extrem innerhalb aller möglichen Produktionsszenarien stellt die *Massenfertigung* dar. Diese zeichnet sich durch eine hohe Effizienz aus, die durch Standardisierung von Prozessen und die Zerlegung in spezialisierte Prozessschritte erreicht wird. Massenfertigung bringt, bedingt durch den hohen Automatisierungsgrad, hohe Fixkosten mit sich. Diese wiederum erfordern eine örtliche Konzentration der Fertigung in Form großer Fabriken, um Skaleneffekte nutzen zu können. Aufgrund der hohen Standardisierung ist die Flexibilität in diesem Szenario äußerst gering, sodass eine ökonomische Massenfertigung nur im Fall hoher Volumina gleichförmiger Produkte sinnvoll ist. Klare Vorteile bestehen jedoch z. B. in Bezug auf Durchlaufzeiten und variable Kosten.

- *Flexibilität*

Die Flexibilität beschreibt organisationsbezogene Fähigkeiten in Bezug auf den Herstellungsprozess oder dessen Resultat und charakterisiert damit die Fähigkeit beispielsweise möglichst schnell auf Änderungen der Nachfrage zu reagieren oder eine Vielzahl unterschiedlicher Produktvarianten anzubieten (Gerwin, 1993; Suarez et al., 1996; Corrêa, 1994; Rungtusanatham und Salvador, 2008).

Das in Bezug auf die Flexibilität dominierende Szenario ist die *Einzelfertigung*. In diesem ist die Fertigung aufgrund des sehr hohen Anteils an manuellen Tätigkeiten sehr flexibel. Prozesse wiederum sind selten vorab definiert und werden in vielen Fällen ad hoc um das zu fertigende Objekt herum organisiert. Typische, klassische Beispiele für die Einzel- bzw. Werkstattfertigung finden sich in der Dentaltechnik oder Schmuckherstellung. Die Einzelfertigung skaliert schlecht und ist daher eher für kundenbezogene Auftragsfertigung bzw. Einmal- und Kleinserienfertigung geeignet. Diese können dabei jedoch zu einem hohen Grad individualisiert werden. Der Vorteil der hohen Flexibilität wird hier mit hohen variablen Kosten bzw. schwer vorhersagbaren Durchlaufzeiten erkaufte.

Abbildung 3.15 veranschaulicht den durch die beiden Merkmale bzw. Dimensionen aufgespannten Gestaltungsspielraum von traditionellen Fertigungssystemen und zeigt auf, inwiefern dieser durch additive Verfahren erweitert werden kann. Es wird deutlich, dass zwischen den Dimensionen stets ein *Kompromiss* gefunden werden muss (Bolwijn und Kumpe, 1990; Skinner, 1966; Hayes und Wheelwright, 1984; Hounshell, 1984; Safizadeh et al., 1996; Suarez et al., 1996; Adler et al., 1999; Duray,

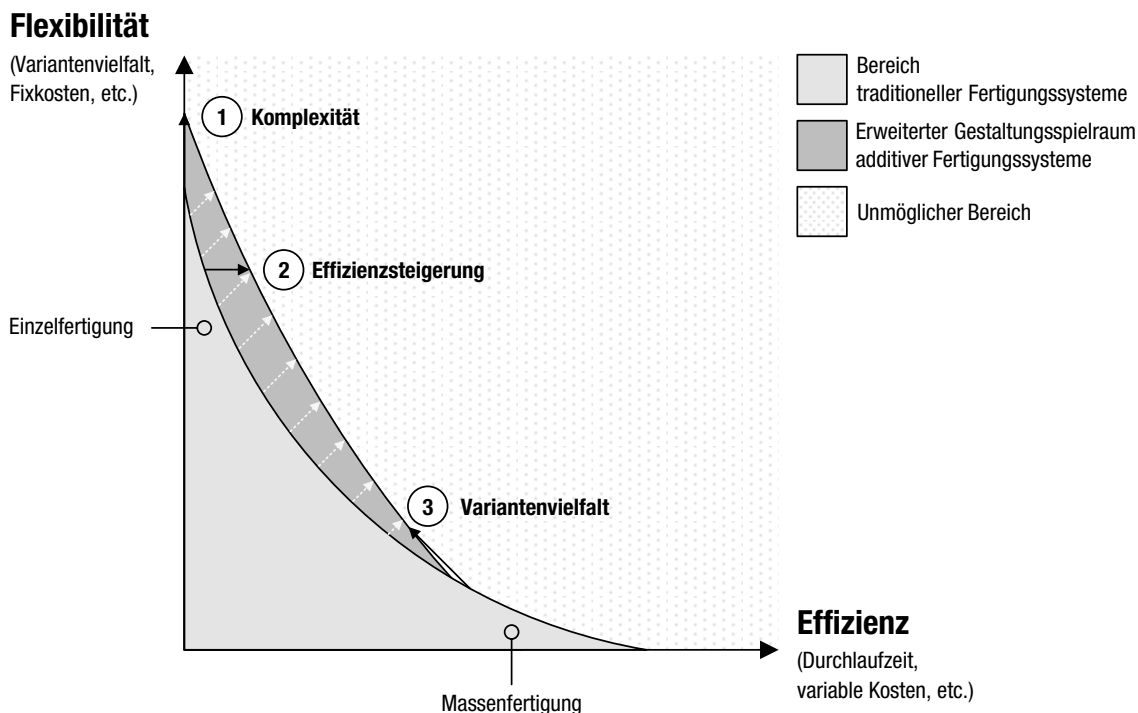


Abbildung 3.15: Gestaltungsspielraum von Fertigungssystemen und Auswirkungen der additiven Fertigungstechnologie.

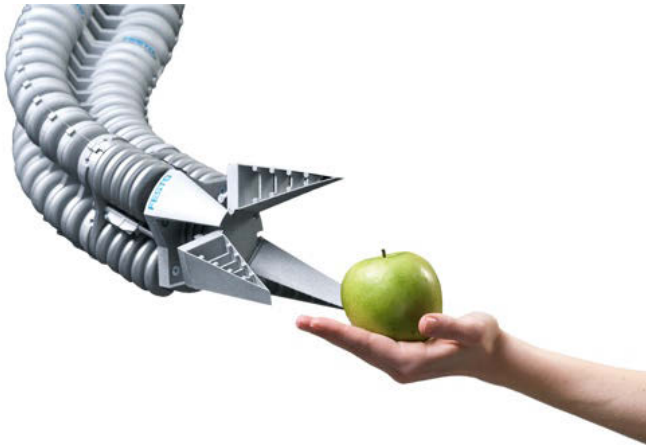
2002). Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass es praktisch nicht möglich ist, maximale Flexibilität bei einem gleichzeitigen Maximum an Effektivität zu erzielen. Dementsprechend werden Fertigungssysteme in aller Regel auf eine spezielle Zielstellung hin optimiert. Verdeutlicht wird dieser Sachverhalt durch die Koexistenz der beiden fokussierten Ausprägungen *Einzelfertigung* und *Massenfertigung* (Schneeweiß, 1997; Dyckhoff, 2003; Kaplan und Haenlein, 2006; Tu und Dean, 2011). Die allgemein zur Verfügung stehenden finanziellen und technischen Ressourcen sowie das Know-how definieren hierbei eine generelle „Grenze des Machbaren“. In der Realität werden die Möglichkeiten eines Unternehmens zudem durch die ihm zur Verfügung stehenden Ressourcen begrenzt.

Wie aus Abbildung 3.15 ersichtlich wird, erweitert die additive Fertigungstechnologie den möglichen Gestaltungsspielraum auf der Flexibilitäts-Achse und schafft auf diese Weise in dreierlei Hinsicht neue Möglichkeiten für fertigende Unternehmen: *Komplexität*, *Effizienzsteigerung* und *Variantenvielfalt*. Die additive Fertigung stellt also keine „disruptive Technologie“ im eigentlichen Sinne dar, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sie die traditionelle subtraktive Fertigung verdrängt (Bower und Christensen, 1995; Christensen, 1997; Schmidt und Druehl, 2008). Die drei Potentiale bzw. Erweiterungen werden im Folgenden detailliert erläutert.

3.3.2.1 Komplexität

Additive Fertigungsverfahren erlauben es, komplexe Objekte zu fertigen, die mit anderen, herkömmlichen Verfahren nicht hergestellt werden können. Der Gestaltungsspielraum wird also in Richtung der Flexibilität, bei gleichbleibender Effizienz, deutlich erweitert. Diese Designfreiheit ermöglicht somit gänzlich neue *Produkte*. Diese neuen Möglichkeiten umfassen dabei nicht nur den tatsächlichen Produktionsoutput bzw. Endprodukte (RM), sondern auch Prototypen (RP) und Werkzeuge (RT) (vgl. Abschnitt 2.2).

Innovative bionische Problemlösungen lassen sich nur bedingt mit konventionellen Fertigungsverfahren realisieren. Aus diesem Grund greift die Festo AG & Co. KG bei der Kleinserienfertigung des in Abbildung 3.16a dargestellten Handling-Assistenten mit Greifer auf das SLS-Verfahren zurück (vgl. Abschnitt 2.3.3). Der sogenannte bionische Handling-Assistent bzw. Arm ist nach dem Vorbild des Elefantenrüssels designt. Der Greifer am Ende des Arms ist einer Fischflosse nachempfunden. Aufgrund



(a) Bionischer Handling-Assistent mit Greifer (Festo AG & Co. KG, 2012).



(b) Topologisch optimiertes Bauteil (Airbus Group, 2016).

Abbildung 3.16: Beispiele für Objekte mit angepasster, hoch komplexer Geometrie.

der Komplexität und der im Arm integrierten Funktionalität ist eine Fertigung ohne additive Verfahren nicht realisierbar (EOS GmbH, 2012; Festo AG & Co. KG, 2012).

Die Designfreiheit ist einer der Hauptgründe für den Einsatz der Technologie in der Luft- und Raumfahrt (Airbus S.A.S., 2014; EOS GmbH, 2014; Wagner und Walton, 2016). Betrachtet man die CO₂-Emissionen eines Flugzeuges über dessen gesamten Lebenszyklus, so haben bereits geringe Gewichtseinsparungen an einzelnen Bauteilen enorme Auswirkungen auf die Gesamtbilanz. Höhere Kosten und ein erhöhter Energieverbrauch der optimierten Teile in der Herstellungsphase werden so in der ausschlaggebenden Betriebsphase kompensiert (EOS GmbH, 2013c). Abbildung 3.16b zeigt beispielhaft eine Halterung mit optimierter Topologie, wie sie im Airbus A380 zum Einsatz kommt (Airbus Group, 2016).

3.3.2.2 Effizienzsteigerung

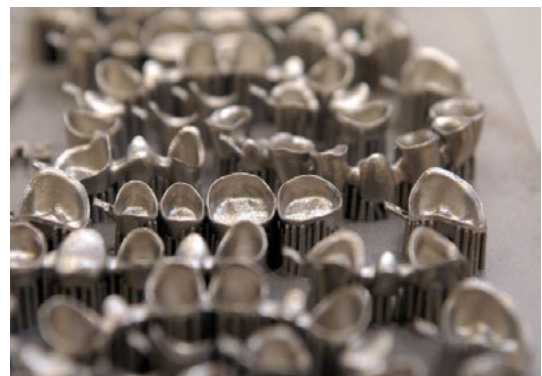
Die zweite Implikation ist im Kontext der Einzelfertigung anzusiedeln. Additive Verfahren werden hier zur Automatisierung bislang manueller Tätigkeiten eingesetzt und ermöglichen effizientere *Prozesse* bei nahezu identischer Flexibilität. Obwohl dies auf den ersten Blick kontraintuitiv erscheinen mag, wirkt sich die flexiblere Produktion hier positiv auf die zweite Dimension, die Effizienz, aus. Der ökonomische Nutzen liegt in Zeit- und Kosteneinsparungen, die beispielsweise durch wegfallende Rüstkosten erzielt werden.

Aufgrund der hohen Effizienz bei der Herstellung patientenindividueller Implantate ist die additive Fertigungstechnologie in der Medizintechnik bereits fest etabliert (Ventola, 2014; Masuch, 2016). Als Material kommen hierbei häufig Titanlegierungen zum Einsatz, die trotz ihres geringen Gewichts eine hohe physische Stabilität aufweisen. Die poröse Gitterstruktur, wie sie in Abbildung 3.17a zu sehen ist, begünstigt das Einwachsen in bestehendes Gewebe (EOS GmbH, 2015). Die weitreichenden Auswirkungen der additiven Fertigung auf bestehende Prozesse zeigen sich auch bei der Produktion von Hörgeräten. So hat die gesamte US-amerikanische Hörgeräteindustrie ihre Fertigung innerhalb von nur eineinhalb Jahren komplett auf additive Fertigungsverfahren umgestellt und konnte infolgedessen die Effizienz in der Produktion spürbar steigern (D’Aveni, 2015).

Auch im zahntechnischen Arbeitsprozess haben sich bereits heute digitalen Scan-, Röntgen- und Abformdaten etabliert (Kieschnick, 2015; Silberbauer und Zeppenfeld, 2016). Die in den letzten Jahren zunehmend gesteigerte Leistung additiver Fertigungssysteme hat dazu geführt, dass nicht nur einfache Arbeitsmodelle oder Operationsschablonen, sondern vollständige Zahnersatzlösungen aus den digitalen Modelldaten automatisiert gefertigt werden können (von See und Meindorfer, 2016; Wachtel, 2016). Im Gegensatz zum traditionellen Wachsaußschmelzverfahren mit dem sich ca. 20 Einheiten pro Tag fertigen lassen, können auf einer additiven Fertigungsanlage in vergleichbarer Zeit bis zu 450 Kronen und Brücken produziert werden (EOS GmbH, 2013a). Abbildung 3.17b zeigt dreidimensionale Zahnersatzlösungen, die mit additiven Verfahren nicht nur genauer, sondern auch kostengünstiger und in kürzerer Zeit gefertigt werden können (EOS GmbH, 2013a).



(a) Hüftimplantat (EOS GmbH, 2013a).



(b) Zahnersatz (EOS GmbH, 2013a).

Abbildung 3.17: Beispiele für Objekte, die effizient und flexibel gefertigt werden.

3.3.2.3 Variantenvielfalt

Durch den Verzicht auf Effizienz werden teils höhere, zuvor nicht mögliche Level an Flexibilität erreicht, die gänzlich neue *Geschäftsmodelle* ermöglichen. Additive Fertigungsverfahren erlauben einen Übergang von hocheffizienter, aber unflexibler Massenfertigung, hin zu einer weniger effizienten, aber flexibleren Kleinserien- und Einzelfertigung. Sinnvoll ist ein solcher Wechsel dann, wenn dem Effizienznachteil eine deutlich höhere Wertschöpfung gegenübersteht. Voraussetzung dafür ist die Bereitschaft des Kunden, für die ihm gebotene Flexibilität in Form von Variantenvielfalt, individualisierten Produkten oder optimierten Produktlebenszyklen, eine entsprechende Preiserhöhung in Kauf zu nehmen.

Abbildung 3.18a zeigt ein additiv gefertigtes Brillengestell, das eine filigrane Gitterstruktur erkennen lässt (Hoet, 2016). Für eine optimale Passgenauigkeit des Gestells können dessen Abmessungen an den jeweiligen Brillenträger individuell angepasst werden (Dhuru, 2015). Durch die flexible kundenindividuelle Produktion kann die Brille in puncto Funktionalität wie auch Ästhetik maßgeschneidert werden. Industrielle additive Fertigungssysteme garantieren eine bedarfsgerechte Herstellung innerhalb weniger Tage (EOS GmbH, 2016).

Auch im Bereich des Kunsthandwerks wird die additive Fertigung bereits seit einigen Jahren, insbesondere in der Schmuckherstellung, eingesetzt. Die Verarbeitung von Gold oder verschiedenen Kupferlegierungen, wie beispielsweise Messing, erfolgt dabei auf einem solch hohen Niveau, dass hier direkt für den Endkunden gefertigt



(a) Individuelles Brillengestell mit filigraner Gitterstruktur (Hoet, 2016).



(b) Additiv gefertigter Ring (Staver, 2014).

Abbildung 3.18: Beispiele für neuartige, individualisierte Produkte.

wird (EOS GmbH, 2013b; Staver, 2014). Kunden haben die Möglichkeit, aktiv am Entstehungsprozess mitzuwirken und das Design ihres individuellen Schmuckstücks zu beeinflussen (Strawter, 2014; Backer, 2016). Abbildung 3.18b zeigt einen additiv gefertigten Ring mit diversen Hohlräumen, die vor der eigentlichen Fertigung an die Wünsche des Kunden angepasst werden können.

3.3.3 Marktwachstum und Förderung

Bedingt durch die rasante technologische Entwicklung und diverse Erfolge mit dem Einsatz additiver Fertigungsverfahren in verschiedensten Anwendungsfeldern ist in den kommenden Jahren mit einem weiteren Wachstum zu rechnen. Insbesondere die Erschließung neuer Märkte und die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle unterstützen diesen Trend (Duchêne et al., 2016; Thompson et al., 2016).

3.3.3.1 Marktvolumen

Seit dem Aufkommen der Technologie vor ungefähr 30 Jahren hat die Nachfrage nach additiven Fertigungsanlagen und Dienstleistungen kontinuierlich zugenommen (Thompson et al., 2016). Die Wachstumsraten der vergangenen Jahre waren stets zweistellig. So erreichte der Markt bei einer Wachstumsrate von 25,9% im Jahr 2015 bereits ein Volumen von mehr als 4,7 Milliarden Euro. Die zweistelligen Wachstumsraten der vergangenen Jahre haben zu optimistischen Prognosen geführt. Analysten prognostizieren der Industrie für das Jahr 2018 bereits ein globales Marktvolumen von 11,8 Milliarden Euro bzw. sogar 19,5 im Jahr 2020 (Wohlers et al., 2016). Abbildung 3.19 zeigt die Entwicklung des globalen Marktvolumens aller Produkte und Dienstleistungen. Neben den tatsächlichen Werten für die Jahre 2010–2016 sind die von Wohlers et al. (2016) prognostizierten Werten für die Jahre 2018 und 2020 abgebildet.

Die Ungenauigkeit der Schätzungen verdeutlichen die Prognosen der zurückliegenden Jahre. Beispielsweise gehen Wohlers und Caffrey (2013b) noch von einem Marktvolumen von unter zehn Milliarden US-Dollar in 2021 aus. Trotz der großen Schwankungen, die beim Vergleich unterschiedlicher Analysen und Prognosen festzustellen sind, zeichnet sich ein deutlicher Trend ab. So besteht grundsätzlich Einigkeit darüber, dass auch in Zukunft mit einem starken Wachstum der Branche zu rechnen ist.

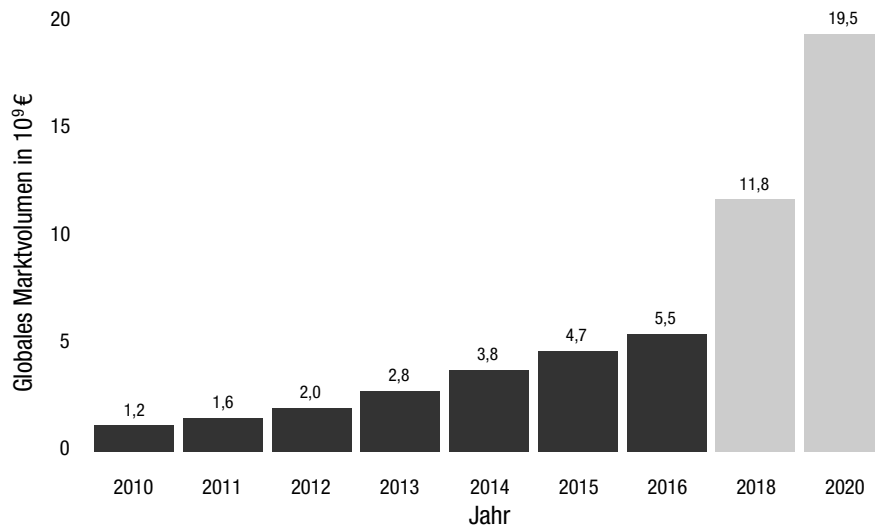


Abbildung 3.19: Globales Marktvolumen der additiven Fertigung (Wohlers et al., 2016, 2017).

3.3.3.2 Förderinitiativen

Es wird erwartet, dass die Verbreitung additiver Verfahren die Rolle Chinas als „Werkbank der Welt“ schwächen und so zu einer Rückverlagerung von Arbeitsplätzen in Hochlohnländer führen könnte (Petrovic et al., 2011; Markillie, 2012; Lipson und Kurman, 2013). Motiviert werden derartige Erwartungen durch die technischen Charakteristika der Technologie (vgl. Abschnitt 3.3.1). Um den erwarteten Auswirkungen zu begegnen, existieren verschiedene nationale und internationale Ausschreibungen bzw. Förderinitiativen.

Deutschland

Der „Sonderforschungsbereich 814 – Additive Fertigung“ wurde bereits 2011 an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ins Leben gerufen und beschäftigt sich mit der grundlegenden Erforschung der Technologie. Verfolgt werden hierbei drei Hauptforschungsfelder: (A) Pulver- und Werkstoffe, (B) Prozesse und (C) Bauteile (vgl. Abbildung 3.20). Das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekt ist im Juli 2015 in seine zweite Förderperiode gestartet. Hierbei werden über einen Zeitraum von weiteren vier Jahren rund zehn Millionen Euro zur Verfügung gestellt (DFG, 2011).

Im Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ werden Forschungsk Kooperationen in den neuen Bundesländern gefördert (BMBF, 2012). Eines der

SFB 814 – Additive Fertigung		
A1 Kaltnassmahlung Schmelzemulgieren	B1 DEM-Simulation	C2 Strukturoptimierung
A2 Modifizierung und Funktionalisierung	B2 Elektronenstrahlschmelzen von Metallen	C3 Makroskopische Simulation
A3 Pulvercharakterisierung	B3 Laserstrahlschmelzen von Kunststoffpulvern	C4 Inkrementelles Prüfen
A5 Laserstrahlschmelzen von Metallen	B4 Mesoskopische Simulation	C5 Materialmodelle metallischer Werkstoffe
A6 Strahlschmelzen von Mehrphasensystemen	B5 Baugruppenfertigung	Metall
	B6 Multi-Materialbauteile	Kunststoff

Abbildung 3.20: Projektstruktur des Sonderforschungsbereichs 814 (SFB-814, 2016).

geförderten Projekte ist die „Additiv-Generative Fertigung – Die 3D-Revolution zur Produktherstellung im Digitalzeitalter (AGENT-3D)“. Derzeit beteiligen sich 110 Partner aus Industrie und Forschung an der strategische Allianz bzw. dem Verein „AGENT-3D e.V.“, dessen Sitz in Dresden liegt.

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, Deutschlands Stellung als Innovationsführer zu sichern und weiter auszubauen. Um dies zu erreichen, wird seit 2014 die sogenannte „Hightech-Strategie“ verfolgt (BMBF, 2014). Im Rahmen dieser Strategie hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mehrere Ausschreibungen, unter anderem auch zur additiven Fertigung, veröffentlicht. Die Ausschreibung „Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte, innovative Materialien (ProMat_3D)“ fördert vor allem Projekte aus den Bereichen der Produktionsforschung und der Materialwissenschaften (Horst und Riehl, 2015).

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) stellt eine selbstständige wissenschaftliche Einrichtung dar, die den Deutschen Bundestag und dessen Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlichen und technischen Wandels berät. Im Jahr 2015 wurde das TAB durch den Bundestagsausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung beauftragt, eine Untersuchung zum Thema „Additive Fertigung“ durchzuführen und einen Innovationsreport zu

erstellen. Ziel der Untersuchung ist die Analyse von Potentialen und Hemmnissen der Technologie, insbesondere für den Wirtschaftsstandort Deutschland, um darauf aufbauend politische Handlungsmöglichkeiten ableiten zu können (Caviezel, 2015).

Eine ähnliche Zielstellung verfolgt die Arbeitsgruppe „Additive Fertigung“ der Leopoldina. Die Leopoldina wurde bereits im Jahr 1652 gegründet und vertritt als Nationale Akademie der Wissenschaften die deutsche Wissenschaft in internationalen Gremien und nimmt dort zu politischen und gesellschaftlichen Fragen Stellung. Die 2015 ins Leben gerufene Arbeitsgruppe analysiert und bewertet Chancen und potentielle Risiken der Technologie. Die angestrebte Stellungnahme zum Thema „Additive Fertigung und 3D-Druck“ soll letztendlich auch der Politik mögliche Handlungsoptionen aufzeigen (Witt, 2015).

In den Rahmenprogrammen „Vom Material zur Innovation“ und „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ werden innerhalb der Initiative „M-era.Net II“ transnationale Forschungsprojekte von Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen gefördert. Einer der Themenschwerpunkte adressiert dabei Materialien für die additive Fertigung (Schroth und Bode, 2017).

Europäische Union

Die EU hat sich bereits früh mit der additiven Fertigungstechnologie auseinandergesetzt. Das erste Forschungsrahmenprogramm (FP), in dem das Thema Beachtung fand, reicht bis in das Jahr 1984 zurück. Auch in den darauf folgenden Programmen waren additive Verfahren stets Gegenstand der Forschung. Im zurückliegenden siebten Rahmenprogramm (FP7) wurden über 60 erfolgreiche Projekte mit mehr als 160 Millionen Euro an Fördergeldern durch die EU ausgestattet (Vallés, 2014).

Im aktuellen EU-Rahmenprogramm „Horizon 2020“ wird die additive Fertigung als KET angesehen, sprich die Experten der EU gehen davon aus, dass die Technologie eine Schlüsselrolle sowohl in Bezug auf die Industrieführerschaft als auch auf den gesellschaftlichen Wandel einnehmen wird (Vallés, 2014; Duchêne et al., 2016).

USA

Das „National Additive Manufacturing Innovation Institute“ ist Teil des 2012 gestarteten „National Network for Manufacturing Innovation“. „Amerika Makes“ bezeichnet eine der Förderinitiativen des Instituts, die als öffentlich-private Partnerschaft aufgebaut ist. Momentan verwaltet die Initiative mehr als 80 Million US-Dollar.

Die Aufmerksamkeit einer breiten Öffentlichkeit, insbesondere in den USA, wurde zuletzt im Februar 2013 auf das Thema 3D-Druck gelenkt, als Präsident Barack Obama (2013); Wohlers und Caffrey (2013a) in seiner Rede zur Lage der Nation die Technologie thematisierte. Aufgrund des erwarteten Potentials als Schlüsseltechnologie für den wirtschaftlichen Erfolg des Landes wurden dem Forschungsnetzwerk im Rahmen der „We Can’t Wait“ Initiative weitere staatliche Finanzierungen zugesagt. Große Hoffnung wird dabei insbesondere auf eine Rückverlagerung von Arbeitsplätzen gesetzt.

China

China möchte der oben angesprochenen Verlagerung von Arbeitsplätzen in der Fertigung entgegenzutreten und versucht die eigene Industrie zu stärken. Die chinesische Regierung investiert dabei in Universitäten und Forschungsinstitute gleichermaßen. Im Jahr 2013 wurde zu diesem Zweck die „Asian Manufacturing Association“ ins Leben gerufen. Diese wird über eine Laufzeit von sieben Jahren mit rund 242 Million US-Dollar unterstützt (Wohlers und Caffrey, 2013a,b).

3.4 Fallstudien

Im Verlauf des Kapitels wurde die Wertschöpfungskette der additiven Fertigung vorgestellt und verschiedene potentielle Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung definiert, visualisiert und diskutiert. Außerdem wurden spezifische Charakteristika der Technologie erläutert und daraus wirtschaftliche Potentiale abgeleitet.

Im Folgenden werden zwei reale Unternehmen der Branche analysiert: *Shapeways* als Beispiel für einen 2-seitigen Markt und der Modellkatalog *Thingiverse*. Als Forschungsdesign für die Untersuchung werden jeweils Fallstudien zu den beiden genannten Unternehmen durchgeführt (Stake, 1995; Yin, 2003; Baxter und Jack, 2008; Dul und Hak, 2008). Dieses Vorgehen wird in der Wirtschaftsinformatik insbesondere dann eingesetzt, wenn betriebswirtschaftliche und organisationsbezogene Fragestellungen untersucht werden (Benbasat et al., 1987; Darke et al., 1998). Drei Hauptgründe sprechen dabei für die Durchführung solcher Studien (Benbasat et al., 1987; Yin, 2003; Paré, 2004; Eisenhardt und Graebner, 2007):

1. Das jeweilige Phänomen bzw. der Untersuchungsgegenstand kann zum aktuellen Zeitpunkt in seiner natürlichen Umgebung untersucht werden.
2. Antworten auf Wie- und Warum-Fragen erlauben es zugrunde liegende Prozesse nachzuvollziehen und zu verstehen.
3. Es besteht die Möglichkeit Einblicke in bisher relativ wenig erforschte Phänomene zu erlangen.

Entsprechend den Empfehlungen der Literatur wurde bei der Auswahl der Fälle bzw. Unternehmen darauf geachtet, dass diese sowohl äußerst aufschlussreich als auch in höchstem Maße exemplarisch sind (Eisenhardt, 1989; Stake, 1995; Yin, 2003; Eisenhardt und Graebner, 2007). Außerdem wurde Wert darauf gelegt, verschiedene, kontemporäre Quellen heranzuziehen (Darke et al., 1998; Yin, 2003). Dies trägt dazu bei, Tendenzen bzw. Verzerrungen durch die rückblickende Betrachtung zu vermeiden (Eisenhardt und Graebner, 2007). Zu den einbezogenen Quellen zählen unter anderem wissenschaftliche Publikationen, Bücher, Blogeinträge, Forenbeiträge, Berichte, Artikel, Pressemeldungen, Interviews, FAQs und Tutorials.

Die einleitende Vorstellung des jeweiligen Unternehmens umreißt dessen Historie und verdeutlicht die adäquate, beispielhafte Stellung. Neben dem jeweiligen Geschäftsmodell der Unternehmen, werden auch Wettbewerber und Konkurrenten vorgestellt und analysiert. Anschließend wird das Angebot bzw. der Modellkatalog der beiden Unternehmen mithilfe gesammelter Daten jeweils deskriptiv analysiert. Ein kurze Diskussion fasst die gewonnenen Erkenntnisse des jeweiligen Fallbeispiels zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

3.4.1 Shapeways

Zu den größten und bekanntesten Vertretern der 3D-Druck-Branche gehört das US-amerikanische Unternehmen *Shapeways* (Bull und Groves, 2009; Strickland, 2013; Fastermann, 2014; Nitz, 2014).



Abbildung 3.21: Shapeways-Logo.

Die Idee, einen 3D-Druck-Marktplatz zu gründen, entstand 2007 zunächst innerhalb der Designabteilung von Royal Philips in den Niederlanden und wurde dort anschließend innerhalb des sogenannten „Lifestyle Incubators“ weiterentwickelt. Zu den damaligen Gründern gehören Peter Weijmarshausen, Robert Schouwenburg

und Marleen Vogelaar (Strickland, 2013). Seit der erfolgreichen Finanzierung und dem Spin-Off im Jahr 2010 ist Shapeways ein eigenständiges Unternehmen mit Hauptsitz in New York. Dennoch operiert das Unternehmen weiterhin auch aus Niederlassungen in Seattle und Eindhoven in den Niederlanden (Weijmarshausen, 2010, 2013). Eine neue Produktionsstätte wurde zuletzt in Long Island City in New York gebaut (Wolfe, 2016). Die neue Fabrik ist die weltweit größte Anlage für additive Fertigung und insbesondere mit industriellen 3D-Druckern ausgestattet. Die Anlage ist in der Lage, drei bis fünf Millionen Objekte im Jahr zu fertigen (Wohlers und Caffrey, 2013b). Die Tatsache, dass der damalige Bürgermeister New Yorks die Eröffnung im Oktober 2012 durchgeführt hat, unterstreicht die hohen Erwartungen an Shapeways (Carney, 2012b). Heute beschäftigt das Unternehmen etwa 100 Mitarbeiter und verschickt jährlich mehr als 2,1 Millionen additiv gefertigte Produkte weltweit in 140 Länder (ter Voert, 2015).

3.4.1.1 Geschäftsmodell

Das Geschäftsmodell von Shapeways kann als *2-seitiger Markt* beschrieben werden (vgl. Abschnitt 3.2.2.7). Bei dieser Art von Geschäftsmodell wird die Funktionalität von Modellkatalogen mit der Möglichkeit kombiniert, Modelle in einem integrierten Prozess herstellen zu lassen. Bei dieser Variante ermöglicht die Plattform – in diesem Falle Shapeways – einer Vielzahl von externen Contentanbietern Inhalte zu offerieren, wobei das Unternehmen gleichzeitig selbst die Fertigung der Modelle übernimmt. Das Erlösmodell 2-seitiger Märkte beruht in aller Regel, so auch hier, auf transaktionsabhängigen Vergütungen. Peter Weijmarshausen, Gründer und CEO von Shapeways, beschreibt die Geschäftsidee seines Unternehmens wie folgt:

„Shapeways is the largest 3D printing marketplace and community online and what we basically do is, we make it possible for anyone to use 3D printers, so you do not need to physically own one.“ (Holman et al., 2013, 4:02 min)

In Abbildung 3.22 ist das Geschäftsmodell von Shapeways grafisch veranschaulicht. Es wird deutlich, dass das Unternehmen in seinem Geschäftsmodell zwei unterschiedliche Parteien bedient, um Gewinne zu erwirtschaften. Zum einen betreibt Shapeways einen Modellkatalog für dreidimensionale Modelle, die von einer Vielzahl eigenständiger *Designer* entworfen und über die Webseite zum Kauf angeboten werden. Zum anderen

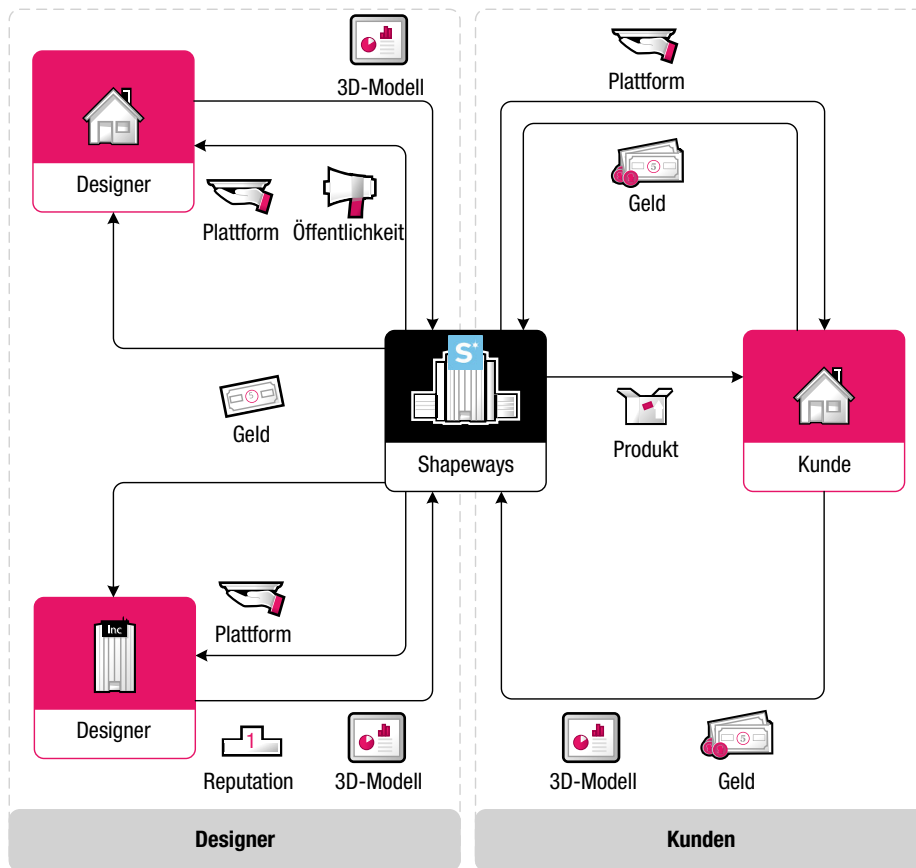


Abbildung 3.22: Shapeways Geschäftsmodell: 2-seitiger Markt.

betreibt Shapeways eine große Anzahl an additiven Fertigungsmaschinen und agiert somit als 3D-Druck-Dienstleister bzw. Online-Shop für *Kunden*, die wiederum auf die im Katalog angebotenen Modelle zurückgreifen. In den nachfolgenden Abschnitten wird Shapeways aus der Perspektive der beiden Stakeholder näher erläutert.

Designer

Shapeways bietet interessierten Designern die Möglichkeit, innerhalb der Plattform einen eigenen Shop zu eröffnen und eigens gestaltete Produkte über den Marktplatz zum Kauf anzubieten. Shapeways agiert in diesem Fall als produzierender Intermediär, der zwischen den beiden Parteien – Designer und Kunde – vermittelt und den Prozess vom Angebot über die Produktion bis hin zu Bezahlung und Versand koordiniert. Shapeways berechnet jeweils einen festen Grundpreis (base price) pro Modell, der für die Fertigung anfällt. Der jeweilige Designer hat anschließend die Möglichkeit, einen frei wählbaren Aufschlag (markup) festzusetzen. Von diesem Aufschlag behält

Shapeways, im Falle einer Bestellung, 3,5 % Transaktionsgebühren ein. Die restlichen 96,5 % des festgelegten Aufschlags gehen an den Designer des Produkts (Shapeways, 2016g,f).

Die Einbeziehung von Designern und die Integration von Designer-Shops in die Plattform ist ein wesentlicher Bestandteil des Erlös- und Geschäftsmodells von Shapeways, was auch an der folgenden Äußerung von Weijmarshausen deutlich wird:

„An amazing part of Shapeways is that we offer the ability for designers, for product designers, to open their own shop. Again, totally free and in these shops they can sell their product designs and they make a markup that they decide themselves on each and every item they sell, which is really great.“ (Banse und Weijmarshausen, 2012, 3:54 min)

Aus der Perspektive eines Designers sind für den Angebots- bzw. Verkaufsprozess lediglich die folgenden beiden Schritte notwendig (Shapeways, 2016e,d):

1. *Shop eröffnen*

Um als Designer eigene Produkte bzw. Modelle zu verkaufen, ist es zunächst notwendig einen Shop zu eröffnen. Dies erfordert die Registrierung auf der Plattform und die Angabe eines PayPal-Accounts. Dieser Account ist notwendig, um die erzielten Gewinne monatlich ausbezahlt zu bekommen. Darüber hinaus ist es möglich, den Shop an die eigenen Bedürfnisse anzupassen. Zu den möglichen Anpassungen gehören unter anderem der Name des Shops und dessen URL, ein Banner und Logo oder die Integration von Google Analytics, um das Nutzerverhalten rückzuverfolgen. Ein Beispiel für einen angepassten Shop ist in Abbildung 3.23 dargestellt.

2. *Modelle hochladen*

Im Anschluss an die Einrichtung des Shops können dort dreidimensionale Modelle hochgeladen und zum Verkauf angeboten werden. Während des Upload-Prozesses muss der Designer einen Verkaufspreis definieren. Dieser beinhaltet einen von Shapeways berechneten „base price“, der für die Fertigung des Objektes veranschlagt wird. Der Designer kann ein sogenanntes „markup“ festlegen, was ihm weitreichende Kontrolle über den endgültigen Verkaufspreis bzw. den Profit je verkauftem Objekt gibt. Abbildung 3.24 zeigt exemplarisch die Maske zur Preisgestaltung innerhalb der Webseite.

shapeways* SHOP MAKE COMMUNITY Search Q UPLOAD Join Sign In

LucasPlus
 Designs by LucasPlus Contact Designer Follow

LucasPlus designs all start with a motto I really believe in: "Think Positive". The representation of the Plus symbol throughout the collection serves as a mental reminder to have positive thoughts and spread good vibes. Lately I find myself intrigued by the intersection of technology + fashion, and my latest pixelation aesthetic is an exploration of the moment when virtuality becomes reality, where pixels become matter.

Shop Sections

All Sections
 Bracelets
 Pendants
 Rings

Most Popular

About This Shop

Created by Lucas Goossens, male model and 3D modeler. The Plus symbol serves as the driving motif behind the collection to

	Pixel Pendant €63.18 by LucasPlus ♥ 41		Moon Pendant €80.31 by LucasPlus ♥ 29		Solid Plus Pendant €84.60 by LucasPlus ♥ 18		Hamsa Pendant €84.60 by LucasPlus ♥ 25
	Plus Ring €159.55 by LucasPlus ♥ 28		Plus Cuff (large) €191.67 by LucasPlus ♥ 10		Ruppee Pendant €63.19 by LucasPlus ♥ 20		3D Printer Pendant €127.42 by LucasPlus ♥ 10

Abbildung 3.23: Shapeways-Shop „LucasPlus“ des Designers Lucas Goossens (Shapeways, 2016c).

Pricing Currency: \$ USD

Shapeways accepts payments in USD and EUR, and we operate on a fixed monthly exchange rate. [Learn More](#)

MATERIAL	PRINT SUCCESS	BASE PRICE	MARKUP	TOTAL PRICE
14k Rose Gold Plated <small>Default Material</small>	✓ 100%	\$74.57	+ \$10.43	= \$85.00
Polished Brass	✓ 100%	\$56.47	+ \$8.53	= \$65.00
Raw Brass	✓ 100%	\$42.42	+ \$12.58	= \$55.00
14k Gold Plated	✓ 100%	\$74.57	+ \$10.43	= \$85.00
18k Gold Plated	✓ 100%	\$74.57	+ \$10.43	= \$85.00
Rhodium Plated	✓ 100%	\$74.57	+ \$10.43	= \$85.00

Abbildung 3.24: Preisgestaltung: $base\ price + markup = total\ price$ (Shapeways, 2016d).

Die veröffentlichten Kennzahlen der zurückliegenden Jahre unterstreichen das wachsende Interesse von Designern Shops zu eröffnen und eigene Modelle und Produkte über Shapeways Marktplatz anzubieten. Allein im Jahr 2011 wurden mehr als 2.500 neue Shops eröffnet (Scott, 2012). Im darauffolgenden Jahr stieg die Anzahl der Shops bereits auf 8.000, die innerhalb dieses Jahres insgesamt 500.000 US-Dollar Einnahmen erwirtschafteten (Carmy, 2012a; Wohlers und Caffrey, 2013b). Ende 2013 erreichte die Anzahl einzelner Shops mit 13.500 ein neues Maximum, das ein Wachstum von 75 % im Vergleich zum Vorjahr bedeutet (Carmy, 2013). Auch die Geschäftszahlen aus dem Jahr 2014 bestätigen den anhaltenden positiven Trend, so stieg beispielsweise die Anzahl der Shops auf inzwischen 23.000 an (Muzumdar, 2014; ter Voert, 2015).

Kunden

Shapeways unterstützt die zweite Partei seines 2-seitigen Marktes, die Kunden, in vielerlei Hinsicht bei der Erstellung und Fertigung von dreidimensionalen Objekten und verfolgt dabei unterschiedliche Strategien, um die Kunden an die Plattform zu binden. Im einfachsten Fall bestellen Kunden Produkte, die von Designern in deren Shops angeboten werden. Shapeways agiert in diesem Fall als Intermediär, der mithilfe seiner Plattform zwischen den beiden Parteien vermittelt und die komplette Abwicklung übernimmt. In Abbildung 3.25 ist der generelle Bestellprozess eines Kunden im Marktplatz mithilfe von Screenshots der Webseite abgebildet. Dieser lässt sich wie folgt beschreiben:

1. Der Modellkatalog ist in unterschiedliche *Haupt- und Subkategorien* (z. B. Art: Mathematical Art, Memes, Sculptures, Other) untergliedert, durch die der Nutzer navigieren kann.
2. Beim Browsen durch den *Katalog* kann sich der Nutzer für ein bestimmtes Modell bzw. Produkt entscheiden und dieses auswählen.
3. Die *Produktdetails* enthalten diverse Informationen, wie den Namen des Produkts und Designers oder Schlagworte, die das Objekt beschreiben. Außerdem bietet die Detailseite verschiedene Funktionen, wie beispielsweise ein Modell zu favorisieren.

4. Die *Materialliste* gibt eine Übersicht über Farbe und Beschaffenheit der zur Verfügung stehenden Materialien und listet zugleich den jeweiligen Preis für das Produkt.
5. Nach der Wahl des Materials kann das Produkt zum *Warenkorb* des Kunden hinzugefügt werden.
6. Während der finalen *Bestellung* ist es notwendig Adress- und Zahlungsdaten zu hinterlegen. Je nach Material und Auslastung hat der Kunde die Möglichkeit zwischen drei Fertigungsgeschwindigkeiten (Rush, Standard, Extended) zu wählen, die sich auf den Preis und das voraussichtliche Lieferdatum auswirken.

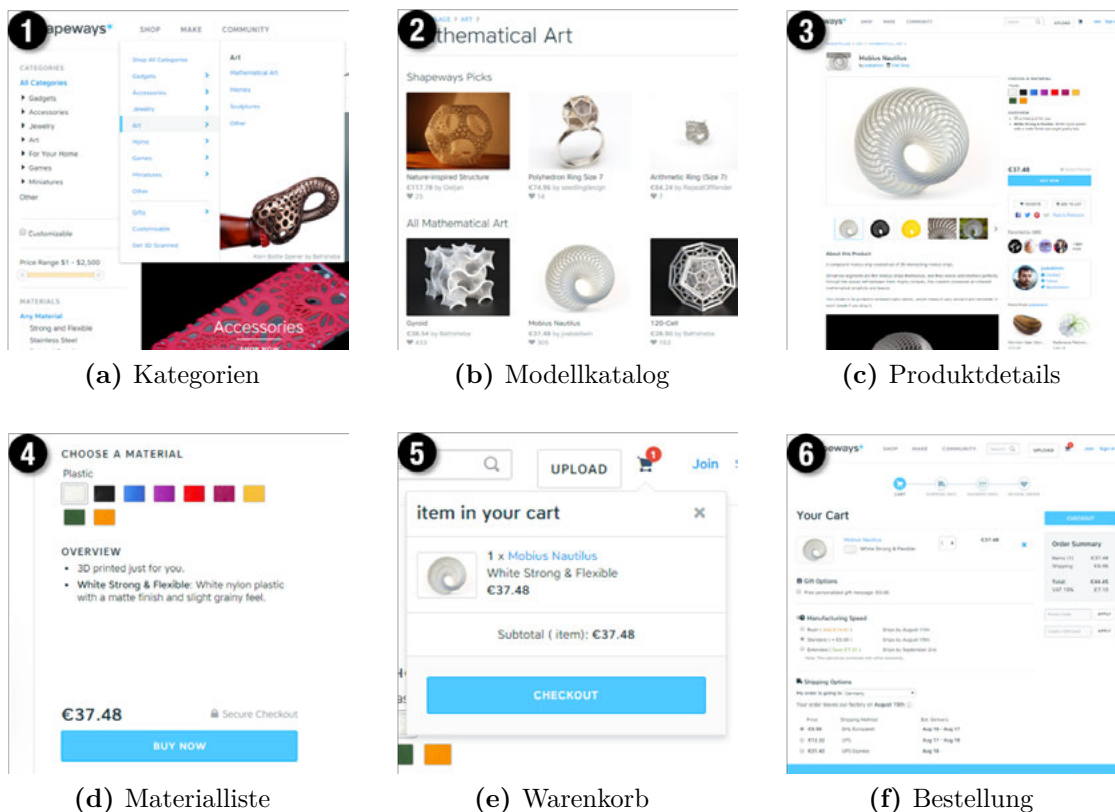


Abbildung 3.25: Shapeways Bestellprozess am Beispiel des Modells „Mobius Nautilus“ von Joaquin Baldwin aus der Kategorie „Art: Mathematical Art“.

Der beschriebene Prozess entspricht aus Kundensicht bis auf wenige Ausnahmen dem Bestellprozess in einem konventionellen Onlineshop. Shapeways tritt gegenüber der Kundenseite in einer weiteren Rolle auf. Hinter den Schlagworten *Make* bzw.

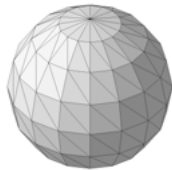
Create verbirgt sich die Möglichkeit, eigene Modelle hochzuladen und diese von Shapeways additiv fertigen zu lassen (Shapeways, 2016a). Abbildung 3.26 veranschaulicht die Dienstleistung von Shapeways grafisch. Das zugrunde liegende Geschäftsmodell



Abbildung 3.26: Shapeways als Druckdienstleister (Shapeways, 2016a).

ist das eines *Druckdienstleisters* (vgl. Abschnitt 3.2.2.3). Durch dieses Angebot ist Shapeways in der Lage, Anlagen und Fertigungssysteme kontinuierlich auszulasten. Zur Veranschaulichung der Dienstleistung dienen die beiden Tabellen 3.5 und 3.6. Tabelle 3.5 zeigt die aus Abbildung 2.7b bekannte Kugel und listet die für die Fertigung relevanten Eigenschaften auf. Die Abmessungen der triangulierten Kugel entsprechen denen eines Golfballs. Es gilt außerdem zu beachten, dass die Kugel komplett gefüllt ist und dementsprechend Material im Volumen von $38,21 \text{ cm}^3$ in Anspruch nimmt. In Tabelle 3.6 finden sich die von Shapeways für dieses Modell veranschlagten Preise, aufgelistet nach Material.

Tabelle 3.5: 3D-Modell einer Kugel und ihre fertigungsrelevanten Eigenschaften.

Modell	Eigenschaft	Wert
	Anzahl der Teile	1
	Abmessungen [mm]	$42,7 \times 42,7 \times 42,7$
	Materialvolumen [cm^3]	38,21
	Anlagenvolumen [cm^3]	43,96
	Oberfläche [cm^2]	55,46

Shapeways spricht mit diesem Angebot gezielt kreative und designorientierte Kunden an (Carmy, 2012c). Diese Kunden sind Teil der in den vergangenen Jahren verstärkt wahrnehmbaren „Do-It-Yourself-Kultur“ bzw. „Makerbewegung“ (Watson und Shove, 2008; Kuznetsov und Paulos, 2010; Anderson, 2012; Dougherty, 2012). Im Zusammenhang mit dem für Endkunden verfügbaren 3D-Druck, der vormals

aufgrund der hohen Kosten lediglich großen Konzernen vorbehalten war, spricht man auch von einer „Demokratisierung der Produktion“ (Bull und Groves, 2009; Mota, 2011; Cole, 2015; Ihl und Piller, 2016).

„What is happening, we call the democratization of production because until now, only big companies had access to these machines that could produce stuff. Mass manufacturing is reliant on very complex and expensive factories to make things very efficiently but no normal person can have access and make something for themselves. What we are doing is giving the power of creation back to everybody.“ (Banse und Weijmarshausen, 2012, 9:48 min)

Tabelle 3.6: Preisübersicht ausgewählter Materialien für eine Kugel in der Größe eines Golfballs.

Material		Preis [€]				
Gruppe	Finish	Arbeitskraft	Materialvolumen	Anlagenvolumen	Bearbeitungsgebühr	Endpreis
Flexible Plastic	White	1,61	11,46	9,88	–	22,94
	Elasto Plastic	2,68	11,46	9,88	–	24,01
Detail Plastic	Ultra Detail	–	142,80	–	5,35	148,16
Stainless Steel	Stainless Steel	6,43	204,58	–	–	211,01
Precious Metal	Raw Silver	–	818,39	–	32,13	850,51
	14k Gold Plated	–	900,21	–	32,13	932,34
Sandstone	Sandstone	–	30,69	–	3,21	33,91
PLA	Orange	8,04	16,37	–	–	24,41

Anmerkung: Der Endpreis entspricht dem von Shapeways veranschlagten Endpreis und kann deshalb von der Summe der aufgeführten Teilpreise abweichen. Die Abfrage der Preise wurde am 19.08.2016 durchgeführt.

Die angesprochene Kreativität kann dabei dem Bedürfnis nach Selbstverwirklichung zugeordnet werden, wie sie Maslow (1943) in seiner Theorie zur menschlichen Motivation bzw. Selbstverwirklichung beschreibt (Scheffer und Heckhausen, 2010; Myers, 2014). Die nachfolgende Abbildung 3.27 zeigt die Maslowsche Bedürfnishierarchie, die häufig in Form einer Pyramide dargestellt wird.

3.4.1.2 Wettbewerb

Shapeways kann bei relevanten Kennzahlen ein signifikantes Wachstum vorweisen. Vor allem die Anzahl additiv gefertigter Objekte belegt diesen Sachverhalt. Nach der

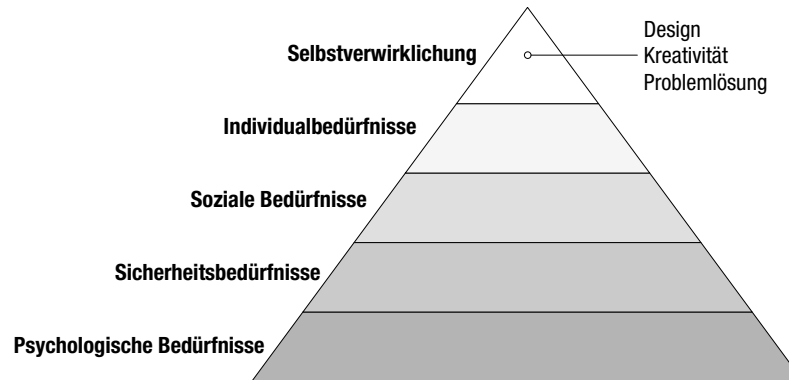


Abbildung 3.27: Kreativität als Teil der Selbstverwirklichung in der Maslowschen Bedürfnishierarchie (Scheffer und Heckhausen, 2010; Myers, 2014).

Gründung im Jahr 2007 wurden 2012 erstmals mehr als eine Million Objekte mithilfe der Fertigungssysteme des Unternehmens produziert (Carmy, 2012a; Wohlers und Caffrey, 2013b). Im darauf folgenden Jahr konnte sowohl die Anzahl an Kunden-Accounts als auch die Menge additiv gefertigter Produkte erneut mehr als verdoppelt werden (Carmy, 2013; ter Voert, 2015).

Die Historie der Technologie (vgl. Abschnitt 2.5) im Allgemeinen sowie die Entwicklung von Shapeways im Speziellen verdeutlichen das kontinuierliche Wachstum des Industriezweigs (Wohlers et al., 2017). Dieses Wachstum hat zahlreiche Neugründungen hervorgerufen, insbesondere in Form von internetbasierten Plattformen, wie Onlineshops und Marktplätzen (Wohlers und Caffrey, 2013b). Aus diesem Grund steht Shapeways – trotz des beeindruckenden Erfolgs – in enger Konkurrenz mit verschiedenen Mitbewerbern. Die bedeutendsten Konkurrenten von Shapeways sind Kraftwurx in den USA sowie die Unternehmen Materialise und Sculpteo aus Belgien bzw. Frankreich (vgl. Tabelle 3.1).

Alle aufgeführten Unternehmen operieren durch ihre jeweilige Webpräsenz und bieten jeweils auch einen weltweiten Versand der gefertigten Produkte an. Abgesehen von diesen Gemeinsamkeiten unterscheiden sich die Firmen in diversen Details, wie beispielsweise dem zur Verfügung stehenden Materialportfolio oder den unterstützten Dateiformaten. Kraftwurx bietet die größte Materialauswahl, was darauf zurückgeführt werden kann, dass Kraftwurx einen 3-seitigen Marktplatz betreibt. Kraftwurx bietet die Fertigung nicht selbst an, sondern setzt auf die Kooperation mit zahlreichen kleineren Dienstleistern, die wiederum verschiedene Verfahren und Materialien anbieten. Sculpteo und Materialise mit Sitz in Europa und Shapeways sind bezüglich der angebotenen Materialien in etwa gleich auf. Festgehalten werden

kann, dass Materialise durch ein eigens entwickeltes Verfahren bzw. eine Anlage, die sogenannte „Mammut-Stereolithographie“, die mit Abstand größten Modelle fertigen kann (materialise, 2016).

Neben dem wachsenden Konkurrenzkampf zwischen rivalisierenden Unternehmen innerhalb der Branche wird Shapeways auch durch neue, substituierende Geschäftsmodelle bedroht. Wie bereits zuvor erläutert, steigt die Anzahl der Jahr für Jahr



Abbildung 3.28: 3D-Hubs-Logo.

verkauften Desktop-3D-Drucker kontinuierlich an (vgl. Abbildung 3.3). Die Besitzer solcher Geräte wiederum sind nur noch bedingt auf das Angebot von Shapeways angewiesen. Zudem existiert seit Mitte 2013 mit „3D Hubs“ ein neuer Intermediär dessen Geschäfts- und Erlösmodell auf eben diesen dezentral verteilten Desktop-3D-Drucker in Haushalten von Privatpersonen beruht. Bram de Zwart, CEO und Mitgründer von 3D Hubs beschreibt die Vision des Unternehmens wie folgt:

„With 3D printing, the factories of the future could become community-run micro-operations. Products could be made on-demand and closer to their point of purchase.“ (Kite-Powell, 2013)

Im zweiten Quartal 2017 gehören zur Community mehr als 33.000 3D-Drucker in über 150 Ländern, die ca. 40.000 Fertigungsaufträge im Monat leisten. Mit insgesamt 453 registrierten Druckern ist New York die Stadt mit dem größten Serviceangebot weltweit. Innerhalb Deutschlands ist Berlin mit 170 gelisteten Geräten am stärksten vertreten (Garret, 2017). Aufgrund des enormen Wachstums, das die Plattform nicht zuletzt dem steigenden Absatz von Desktop-3D-Druckern zu verdanken hat, erhielt das Unternehmen im August 2016 von EQT Ventures und Balderton Capital eine Finanzierung in Höhe von sieben Millionen US-Dollar, um sein Wachstum zu forcieren (Schoffer, 2016b).

Eine weitere Bedrohung stellen kostenlos verfügbare Modellkataloge dar (vgl. Abschnitt 3.1.3 bzw. 3.2.2.2). Shapeways steht hier in wachsender Konkurrenz zu einer Vielzahl an frei verfügbaren Plattformen. So hat beispielsweise MakerBot, ein Hersteller von Desktop-3D-Druckern, im Jahr 2008 die Online-Plattform und -Community „Thingiverse“ für nicht-kommerzielle Designs ins Leben gerufen (Baichtal, 2008). Bemerkenswert hierbei ist, dass diese Plattform kein eigenständiges Erlösmodell besitzt, sondern ursprünglich zur Förderung des Absatzes der firmeneigenen Desktop-3D-Drucker betrieben wurde. MakerBot wiederum wurde

im Juni 2013 von Stratasys, einem Hersteller professioneller Fertigungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.1.1), übernommen, um das Portfolio des Unternehmens zu erweitern (Stratasys, 2013). Auf die Plattform Thingiverse wird aufgrund ihrer Popularität im weiteren Verlauf detailliert eingegangen (vgl. Abschnitt 3.4.2).

3.4.1.3 Deskriptive Analyse

Wie zuvor beschrieben, bietet Shapeways auf seiner Plattform eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte zum Kauf an. Im Folgenden soll der 2-seitige Marktplatz bzw. der Produktkatalog von Shapeways deskriptiv analysiert werden. Die Analyse hat das Ziel eine Übersicht über die Zusammensetzung und die Charakteristiken des Katalogs zu verschaffen.

Die zugrunde liegenden Daten wurden mithilfe eines eigens in C# entwickelten Webcrawlers gesammelt. Der HTML-Code der einzelnen Produktseiten wurde mithilfe der Abfragesprache XML Path Language (XPath) ausgewertet (Berglund et al., 2010). Auf diese Weise konnten die gesuchten HTML-Elemente selektiert und die enthaltenen Informationen anschließend extrahiert, aufbereitet und persistent gespeichert werden. Nachfolgend ist beispielhaft ein Ausschnitt aus dem HTML-Code eines Produkts aufgeführt, der den Titel und verschiedene Schlagwörter erkennen lässt.

Quellcode 3.1: Ausschnitt aus dem HTML-Code einer Produktwebseite.

```
1 <div class="col-7-8 col--no-padding">
2     <h1 class="product-title-header">Mobius Nautilus</h1>
3 [...]
4 <div class="keywords">
5     <a href="/marketplace/?tag=art">art</a>
6     <a href="/marketplace/?tag=desk">desk</a>
7     <a href="/marketplace/?tag=desk toys">desk toys</a>
8 [...]
```

Der Datensatz wurde Mitte September 2014 erhoben und besteht aus insgesamt 276.890 Produkten, die zum Kauf angeboten werden. Zu beachten ist hierbei, dass Shapeways im Januar 2015 Anpassungen am eigenen Back-End-System vorgenommen hat, die ein systematisches Sammeln und Auswerten der Daten durch Dritte verhindern sollen (Peterson, 2015).

Abbildung 3.29 zeigt den Screenshot einer Shapeways-Produktseite, in dem die durch den Crawler erfassten Informationen je Produkt kenntlich gemacht sind. Ein Produkt besitzt die folgenden Informationen:

1. Kategorie

Ein Produkt des Katalogs ist jeweils einer *Kategorie* zugeordnet. Innerhalb von Shapeways stehen die nachfolgend aufgeführten Kategorien zur Verfügung: Accessories, Art, Gadgets, Games, Jewelry, Home, Miniatures, Other. Innerhalb dieser Hauptkategorien existieren wiederum verschiedenen Unterkategorien.

2. Name

Der *Name* bzw. die Bezeichnung eines Produkts wird vom Designer beim Upload des Modells vergeben. Der Name selbst muss nicht eindeutig sein.

3. Designer

Im Gegensatz zum Titel des Produkts ist der Name des *Designers* innerhalb von Shapeways eindeutig.

4. Shop

Um als Designer eigene Produkte bzw. Modelle zu verkaufen, ist es zunächst notwendig einen *Shop* innerhalb des Marktplatzes zu eröffnen (vgl. Abschnitt 3.4.1.1). Über den Shop lassen sich alle Produkte eines Designers referenzieren.

5. Material

Der Designer legt fest, in welchen *Materialien* sein Produkt zum Kauf angeboten wird. Darüber hinaus bestimmt er ein Standardmaterial, das beim Aufrufen der Produktseite vorausgewählt ist.

6. Preis

Der auf der Produktseite angezeigte *Preis* bezieht sich auf eine Fertigung in Standardgeschwindigkeit im vorausgewählten Material. Der erfasste Preis bezieht sich nur auf die Fertigungskosten und beinhaltet noch keine zusätzlichen Kosten für Verpackung und Versand.

7. Abbildung

Zu jedem Produkt existiert eine *Abbildung*, die auf der Produktseite einen populären Platz einnimmt. Das Bild hilft dem Nutzer, sich eine bessere Vorstellung vom späteren Endprodukt zu verschaffen. Existiert kein Foto des

1 MARKETPLACE ART > MATHEMATICAL ART >

2 Mobius Nautilus

3 joabaldwin

4 Visit Shop

5 CHOOSE A MATERIAL

Plastic

6 €37.48

Secure Checkout

7 BUY NOW

FAVORITE ADD TO LIST

Post to Followers

8 Favored by (307)

joabaldwin

Contact Follow @joabaldwin

More From joabaldwin

Mormon Seer Ston... €25.69

Radiolaria Vertebr... €48.19

Radiolaria Tetrane... €46.18

Spheramid Puzzle €52.48

Related Items

Gyroid €38.54 by Bathsheba 436

Klein Bottle €22.49 by Bathsheba 110

Maze Mix-pack 1 ... €43.90 by SteveWin... 62

Hypercube A €22.49 by Bathsheba 52

9 About this Product

A compound mobius strip created out of 36 interlocking mobius strips.

All narrow segments are thin mobius strips themselves, and they weave and interlock perfectly through the spaces left between them. Highly complex, this creation possesses an inherent mathematical simplicity and beauty.

This model is 3d printed in sintered nylon plastic, which makes it very resilient and bendable. It won't break if you drop it.

10 http://shpws.me/Chqm

art desk desk toys flowing geek geeky gift math mathematical maximus minusculus mobius moebius nautilus nerd nerdy pattern sculgi art shell simple simplicity toroid unique

11 What's in the Box

IN CM

12 Mobius Nautilus in White Strong & Flexible

WIDTH	HEIGHT	DEPTH
9.156 cm	9.432 cm	5.182 cm

This model is 3D Printed in White Strong & Flexible: White nylon plastic with a matte finish and slight grainy feel.

Last updated on 08/16/2015

13 Comments

Abbildung 3.29: Screenshot einer Shapeways-Produktseite mit Annotation der beim Crawling erfassten Informationen.

Produkts, erzeugt Shapeways automatische eine digitale Vorschau auf Basis der dreidimensionalen Modelldatei. Aus Effizienzgründen wurde jeweils nur die URL der Abbildung, die beim Aufrufen der Webseite angezeigt wird, erfasst.

8. Favoriten

Ein Produkt kann von anderen angemeldeten Nutzern der Plattform *favorisiert* werden. Beim Crawling wurde die Anzahl an „Favorited by“ erfasst.

9. Beschreibung

Die *Beschreibung* wird vom Designer verfasst und enthält allgemeine Informationen zum Produkt. Neben Text kann der Abschnitt „About this Product“ beispielsweise auch Videos oder weiterführende, externe Links enthalten. Die Angabe einer Beschreibung ist optional und obliegt dem Designer.

10. Permalink

Jedes Produkt besitzt einen sogenannten *Permalink*. Dieser Link ist kürzer als die eigentliche URL des Produkts. Der Permalink wird automatisch durch einen von Shapeways betriebenen Kurz-URL-Dienst beim Upload eines Produkts erstellt.

11. Tags

Ein Produkt kann durch verschiedene Schlagworte bzw. *Tags* beschrieben werden. Die vom Designer vergebenen Tags werden von Shapeways bei der Suche nach Modellen berücksichtigt und sind deshalb ein wichtiger Bestandteil der Beschreibung eines Produkts.

12. Abmessungen

Die *Abmessungen* eines Produkts werden vom Designer beim Einpflegen festgelegt. Auf Basis der Abmessungen berechnet Shapeways das benötigte Volumen an Material und Anlagenkapazität und bestimmt die anfallenden Fertigungskosten. Die auf der Webseite angegebenen Abmessungen entsprechen denen des kleinsten das Produkt umschließenden Quaders.

13. Kommentare

Neben den bereits angesprochenen Informationen besitzt jede Produktseite auch eine Kommentarfunktion. Über diese können registrierte Nutzer und der eigentliche Designer *Kommentare* abgeben. Bei der Erhebung der Daten wurde die Anzahl an Kommentaren für jedes Produkt erfasst.

Die erfassten Informationen nebst zugehöriger, kurzer Beschreibung sind in Tabelle 3.7 übersichtlich zusammengefasst. Die darauf folgende Tabelle 3.8 enthält einen ersten Überblick der quantitativen Metriken der im Datensatz erfassten Produkte.

Tabelle 3.7: Übersicht der erfassten Informationen des Shapeways-Datensatzes.

Nr.	Information	Beschreibung
1	Kategorie	Kategorie, der das Produkt zugeordnet ist.
2	Name	Ein Designer weist seinem Produkt einen Namen zu.
3	Designer	Der Name des Designers innerhalb von Shapeways.
4	Shop	Ein Shop kann einen eigenen Namen besitzen.
5	Material	Übersicht, der für das Produkt verfügbaren Materialien.
6	Preis	Preis des Produktes.
7	Abbildung	Vorschau des Produktes in Form einer Abbildung.
8	Favoriten	Anzahl der Nutzer, die das Produkt favorisiert haben.
9	Beschreibung	Beschreibung des Produktes.
10	Permalink	Dauerhaft verfügbarer, kurzer Link zur Produktseite.
11	Tags	Liste der zugewiesenen Tags.
12	Abmessungen	Abmessungen in Form von Länge, Breit und Höhe.
13	Kommentare	Kommentare, die zum Produkt gemacht wurden.

Tabelle 3.8: Charakteristiken der bei Shapeways geführten Produkte ($N = 276.890$).

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Preis [€]	122,69	4.976,72	1,42	23,65	953.250,00
Favoriten	0,58	3,94	0	0	364
Kommentare	0,12	1,32	0	0	216
Tags	2,31	5,10	0	0	188
Länge [cm]	5,74	5,66	0,04	4,78	79,05
Breite [cm]	6,34	5,36	0,03	6,00	73,38
Höhe [cm]	4,69	4,66	0,02	3,82	76,17
Volumen [cm ³]	666,12	4.223,23	0,00	83,67	267.487,80
Materialien	3,95	6,07	1	2	46

Kategorien

Designer haben die Möglichkeit, ein Produkt einer von insgesamt acht unterschiedlichen Kategorien zuzuordnen. Abbildung 3.30 gibt Aufschluss über die Verteilung der angebotenen Produkte in die zur Verfügung stehenden Hauptkategorien. Auffällig ist, dass über ein Viertel der Produkte der unspezifischen Kategorie „Other“ zugeordnet wurden. Vor dem Hintergrund, dass die Einteilung in Kategorien potentiellen Käufern als erste Orientierungshilfe dient und auch innerhalb des Marktplatzes intensiv genutzt wird, ist dies aus Kundensicht als negativ zu beurteilen. Die Kategorien „Accessories“, „Art“, „Gadgets“, „Home“ und „Jewelry“ kommen jeweils auf einstellige prozentuale Anteile und repräsentieren zusammen rund 28,7 % der gesamten Produktpalette.

Die Kategorie „Miniatures“ ist die zweitgrößte. Ihr sind ca. 21 % der Produkte zugeordnet. In dieser Kategorie befinden sich verschiedene Miniaturmodelle von beispielsweise Möbeln, Fahrzeugen oder Personen. In Abbildung 3.31 sind exemplarisch vier verschiedene Produkte der Kategorie abgebildet.

Mit 61.099 verfügbaren Produkten ist die Kategorie „Games“ die größte und repräsentiert über 22 % des Gesamtangebots. In verschiedene Unterkategorien werden

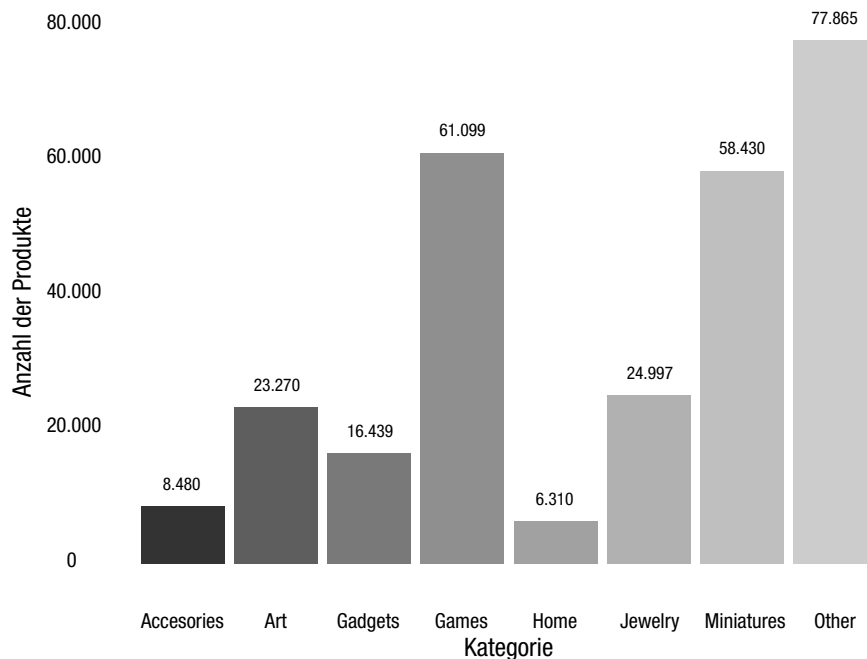


Abbildung 3.30: Anzahl der zum Verkauf angebotenen Produkte je Kategorie.

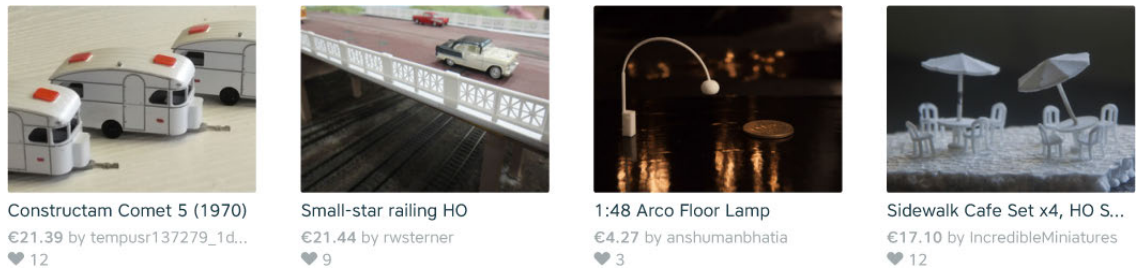


Abbildung 3.31: Produkte der Kategorie „Miniatures“.



Abbildung 3.32: Produkte der Kategorie „Games“.

hier diverse Brettspiele, Würfel und Puzzles zum Kauf angeboten. Abbildung 3.32 dient zur Veranschaulichung und zeigt vier unterschiedliche Produkte der Kategorie.

Abbildung 3.33 stellt die verschiedenen Kategorien des Produktkatalogs gegenüber. Neben der Anzahl der Produkte wird der durchschnittliche Preis eines Produktes, die durchschnittlich vergebenen Favoriten und die durchschnittliche Anzahl der Tags je Kategorie dargestellt. Auffällig ist, dass der durchschnittliche Preis für Produkte aus der Kategorie „Art“ mit 661 € mehr als 24 Mal so hoch ist wie der für Produkte aus der Kategorie „Games“. Betrachtet man die vergebenen Favoriten, sind Produkte aus der Kategorie „Home“ mit durchschnittlich 1,38 je Produkt am beliebtesten. Im Gegensatz dazu erhalten Produkte aus den Kategorien „Games“ und „Other“ im Durchschnitt lediglich 0,15 Favorisierungen je angebotenen Produkt. Die im Vergleich relativ hohe Anzahl an durchschnittlich vergebenen Tags je „Gadgets“ lässt sich darauf zurückführen, dass die „technischen Spielereien“ oftmals einer zusätzlichen Erklärung bzw. Beschreibung bedürfen. Im Gegensatz dazu erhalten Produkte, die der unspezifischen Kategorie „Other“ zugeordnet sind, durchschnittlich weniger als einen Tag. Die indifferente Kategorisierung bzw. Beschreibung setzt sich hier also auch in der Verschlagwortung fort.

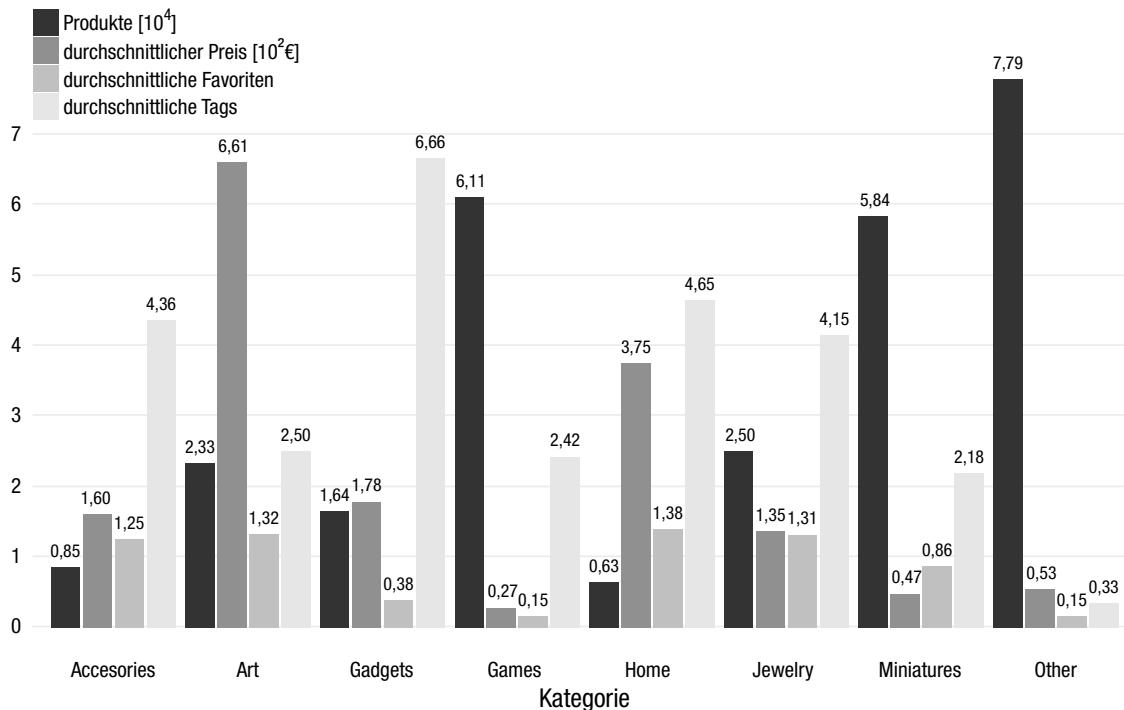


Abbildung 3.33: Anzahl an Produkten, durchschnittlicher Preis, Favoriten und Tags je Kategorie.

Shops

Wie zuvor ausführlich erläutert, bietet Shapeways interessierten Designern die Möglichkeit, innerhalb der Plattform einen Shop zu eröffnen und Produkte zum Kauf anzubieten (vgl. Abschnitt 3.4.1.1). Der vorliegende Datensatz enthält über 13.056 eigenständige Shops, die mindestens ein Produkt anbieten. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Größe der Shops bzw. die Anzahl der Produkte je Shop. Während der Großteil der Shops aus wenigen Modellen einstelliger Größenordnung besteht ($Q_{0,25} = 1$; $Q_{0,5} = 3$), existieren auf der anderen Seite 186 Shops, die jeweils mehr als 100 Produkte anbieten. Aufgrund der starken Streuung der Größe wurde diese log-transformiert. Abbildung 3.34 zeigt das Histogramm für die Verteilung der transformierten Größe.

Der Anteil an Shops, die zehn oder mehr Produkte anbieten, liegt bei unter 20%. Insgesamt bieten also nur wenige, spezialisierte Designer eine breite Palette an Produkten an. Dies suggeriert, dass der Großteil der Shops von semiprofessionellen Hobbydesignern betrieben wird. Im starken Kontrast hierzu stehen die drei größten Shops, die zusammen für mehr als 82.000 Produkte verantwortlich sind und jeweils von professionellen Anbietern betrieben werden. Der größte Shop „Miners Need Cool

Shoes“ hat sich darauf spezialisiert, Avatare des Indie-Open-World-Spiels „Minecraft“ zu verkaufen (Duncan, 2011; Lastowka, 2011; Short, 2012). Die Avatare können auf der Webseite des Anbieters aus dem Spiel zunächst importiert und anschließend weiter individualisiert werden. Kunden haben zudem die Möglichkeit, sich ein reales, dreidimensionales Modell ihres persönlichen Avatars bzw. Charakters zu bestellen. Hierzu greift der Anbieter wiederum auf Shapeways zurück. Die Charaktere im Shop des Anbieters summieren sich auf insgesamt 48.164 Stück. Alleine dieser Shop ist somit für 17,4% des gesamten Produktkatalogs und für mehr als 78% der Produkte der Kategorie „Games“ verantwortlich. „MineToys“, der mit 22.623 Produkten zweitgrößte Shop, verfolgt ein nahezu identisches Geschäftsmodell. Knapp 10% der Produkte lassen sich dem drittgrößten Shop „UtorCase“ zuordnen. Der Shop vertreibt Halterungen, mit denen Smartphones und kleine Tablets an Controllern von Spielekonsolen befestigt werden können. Laut den Angaben des Herstellers werden bereits mehr als fünf verschiedene Konsolen und über 2.000 verschiedene mobile Endgeräte unterstützt.

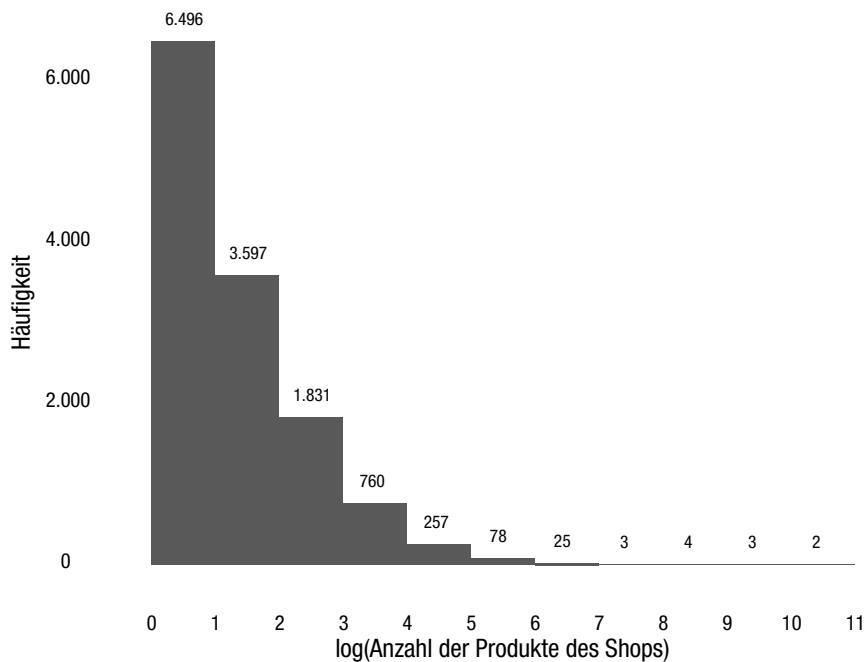


Abbildung 3.34: Verteilung der Größe der Shops.

Preis

Der für einen Käufer sichtbare Endpreis eines Produkts setzt sich aus dem von Shapeways berechneten „base price“ für die Fertigung des Objektes und dem vom jeweiligen Designer bestimmten „markup“ zusammen. Die nachfolgenden Analysen orientieren sich dabei am Preis des Produkts in Euro für das jeweils vorausgewählte Standardmaterial. Zusätzlich anfallende Versandkosten werden vernachlässigt.

Analog zur Größe der Shops sind auch die Preise äußerst stark gestreut ($\bar{x} = 122,7$; $s = 4.976,7$). Abbildung 3.35 zeigt die Verteilung der log-transformierten Preise und die entsprechenden Häufigkeiten. Der Median für die Preise liegt bei rund 24 €, wobei die Streuung relativ groß ist. So existieren im vorliegenden Datensatz 203 Produkte, für die mehr als zehntausend Euro veranschlagt werden.

In Abbildung 3.36 sind Boxplots zur Verteilung der Preise über die einzelnen Kategorien aufgeführt. Um die Übersichtlichkeit der Darstellung zu gewährleisten, wurden Ausreißer nicht mit abgebildet. Es zeigt sich, dass sich der Median der Preise zwischen 17,59 € („Gadgets“) und 40,00 € („Art“) bewegt. Auffällig sind die großen Preisschwankungen innerhalb der Kategorie „Art“ ($Q_{0,25} = 18,0$; $Q_{0,75} = 113,5$). Im Gegensatz hierzu sind die Preise der Produkte aus der Kategorie „Games“ annähernd

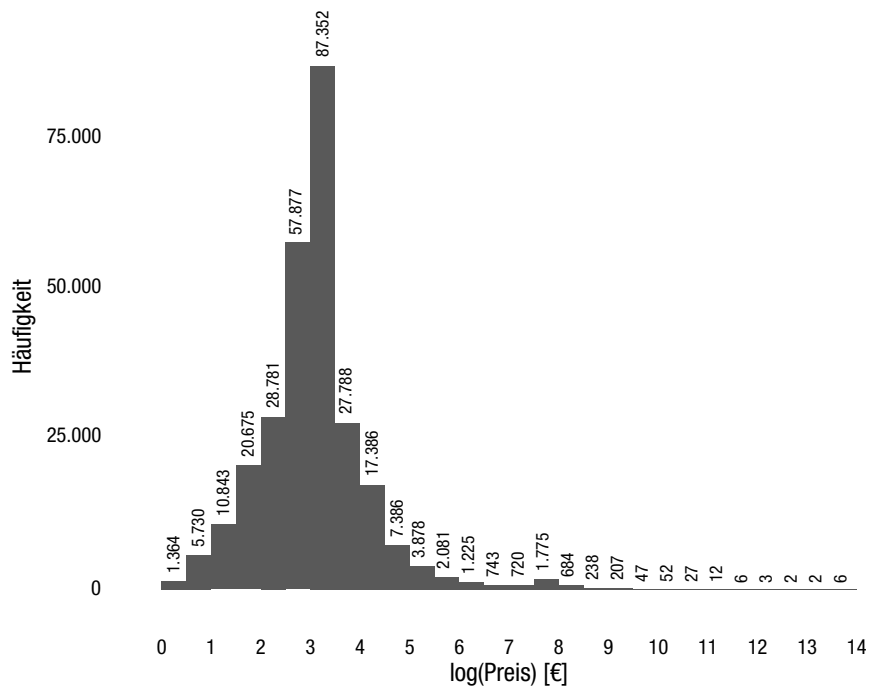


Abbildung 3.35: Preisverteilung der zum Verkauf angebotenen Produkte.

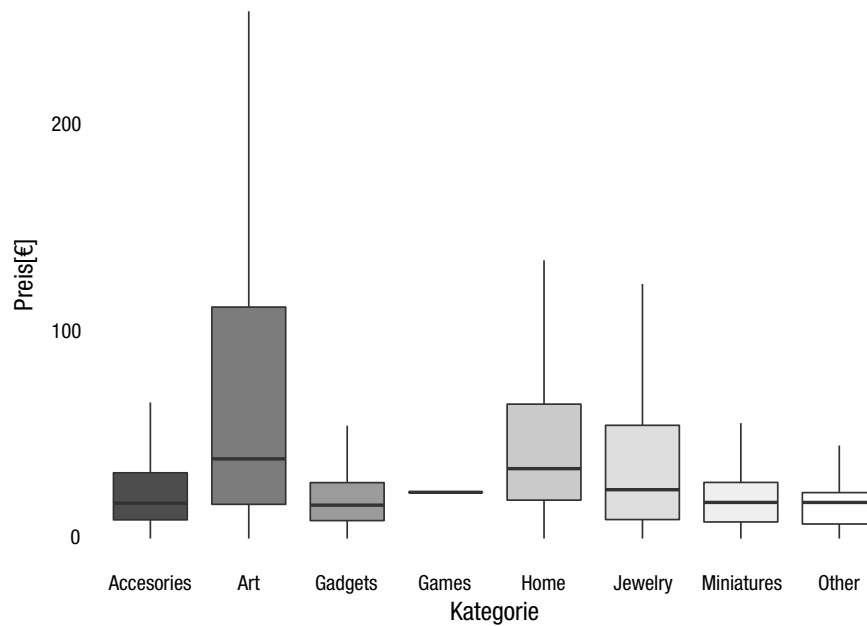


Abbildung 3.36: Boxplot zur Preisverteilung je Kategorie.

konstant ($Q_{0,25} = 23,82$; $Q_{0,75} = 23,82$). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die überwiegende Mehrheit der Produkte dieser Kategorie einem einzigen Shop zugeordnet werden kann (vgl. Abschnitt 3.4.1.3) und die Preise für die Produkte dieses Shops kaum Schwankungen unterliegen ($\bar{x} = 23,91$; $s = 0,38$).

Abbildung 3.37 zeigt den Preis in Abhängigkeit vom jeweiligen Volumen, aufgeschlüsselt für jede der sechs Kategorien. Der Verständlichkeit halber wird hier auf eine Transformation verzichtet. Aufgrund der starken Streuung wurden die Produkte in Bezug auf deren Preis (< 5.000) und Volumen (< 10.000) eingeschränkt ($N = 273.499$). Es zeigt sich, dass insgesamt nur ein schwacher Zusammenhang zwischen Volumen und Preis existiert. Dies wird auf die freie Wahl des Aufschlags durch den Designer zurückgeführt. Der geringste Zusammenhang ($R^2 = 0,00114$) besteht bei der Kategorie „Jewelry“. Designer, die in dieser Kategorie Produkte veröffentlichen, rufen bereits für sehr kleine Schmuckstücke relativ hohe Preise auf. Es liegt nahe, dass die Shopbetreiber hier deutlich höhere Margen ansetzen, um sich die eigene künstlerische Tätigkeit vergüten zu lassen. Der im Vergleich zu den anderen Kategorien relativ hohe Einstiegspreis liegt darin begründet, dass hier häufig Edelmetalle, wie Silber oder Gold, als Material zum Einsatz kommen. Die Kategorie „Art“ hingegen besitzt ein im Vergleich zu den übrigen Kategorien hohes

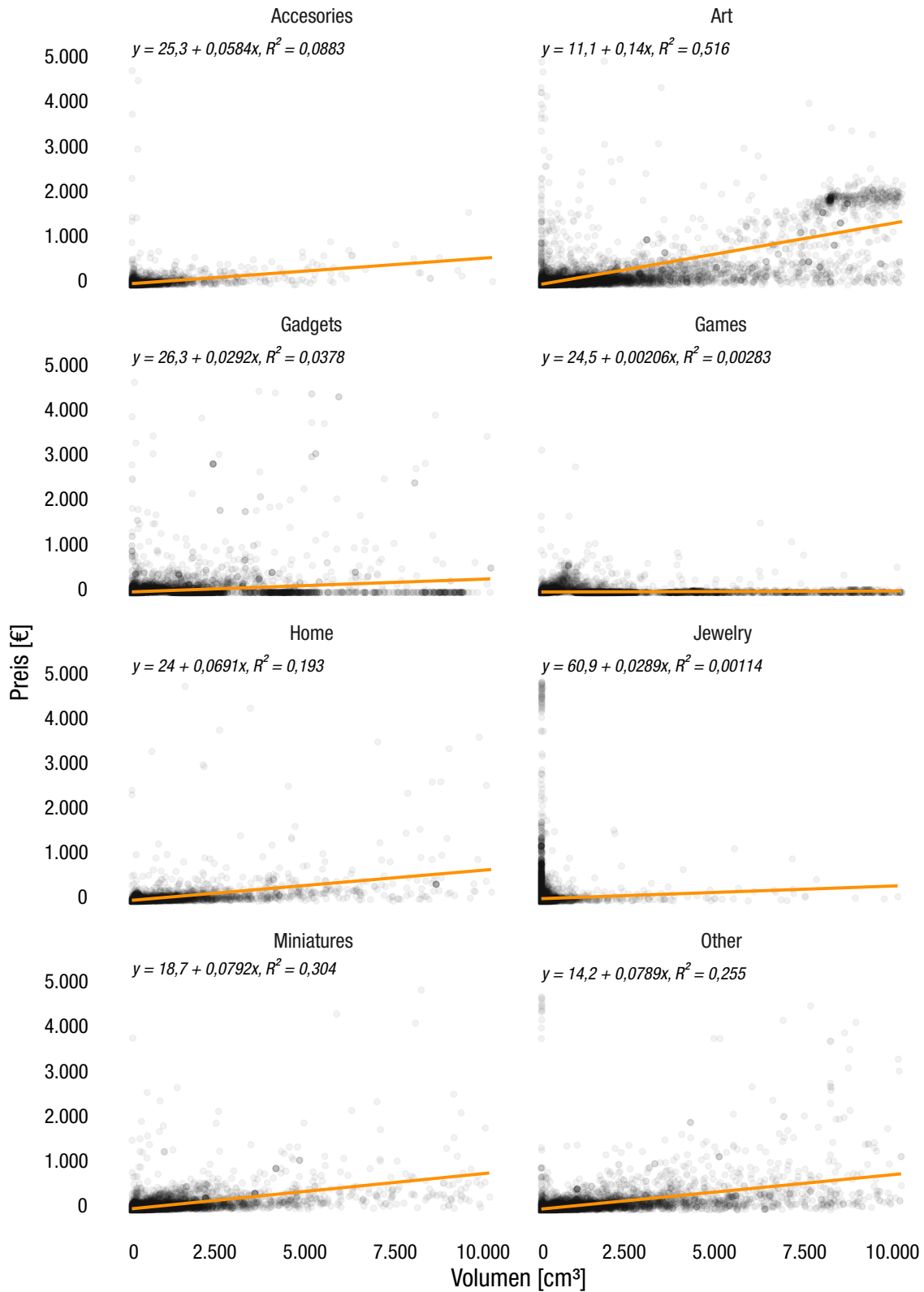


Abbildung 3.37: Verteilung der Preise in Abhängigkeit des Volumens je Kategorie.

Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,516$). Weiterhin kann festgehalten werden, dass, vereinfacht ausgedrückt, für große Kunstwerke deutlich höhere Preise verlangt werden als beispielsweise für Spiele. Eine mögliche Erklärung ist, dass die adressierte Zielgruppe in diesem Fall eine andere ist.

Tags

Designer können während des Uploadprozesses Tags bzw. Schlagworte vergeben, um ihr Produkt zu beschreiben. Aufgrund der freien Form, bei der die Nutzer selbst die Verschlagwortung durchführen, wird diese auch als „Social Tagging“ bezeichnet (Marlow et al., 2006; Gaiser et al., 2008). Da bei Shapeways lediglich Designer ihre eigenen Produkte verschlagworten können, spricht man in diesem Zusammenhang auch von „self-tagging“ (Marlow et al., 2006).



Abbildung 3.38: Shapeways: Tag Cloud.

Rang	Tag	Anzahl	Anteil
1	case	24.734	3,63 %
2	utor	22.766	3,34 %
3	xbox	14.488	2,12 %
4	game	12.925	1,90 %
5	gaming	12.090	1,77 %
6	mount	12.021	1,76 %
7	mobile	11.676	1,71 %
8	dock	11.575	1,70 %
9	smartphone	11.514	1,69 %
10	usb	11.498	1,69 %
11	android	11.487	1,68 %
12	controller	11.439	1,68 %
13	console	11.392	1,67 %
14	gamepad	11.391	1,67 %
15	otg	11.384	1,67 %

Tabelle 3.9: Shapeways: Top Tags.

Abbildung 3.38 enthält eine sogenannte „Tag Cloud“ bzw. Schlagwortwolke, der bei Shapeways geführten Tags (Bateman et al., 2008; Hearst und Rosner, 2008; Lohmann et al., 2009). Diese stellt eine Art der Visualisierung von Informationen dar und ist im Prinzip die grafische Repräsentation einer gewichteten Liste (Sinclair und Cardew-Hall, 2008). Die hier abgebildete Tag Cloud wurde auf Basis aller in Shapeways vergebenen Tags erstellt ($N = 681.933$). Tabelle 3.4.1.3 enthält außerdem die absolute und die relative Häufigkeit der 15 am häufigsten vergebenen Tags. Die

Schlagwortwolke gibt einen Einblick in die Beschaffenheit der Plattform, da sie zwar spezifischer als die Unterteilung in Kategorien ist, jedoch auf einer höheren Ebene als die individuellen Titel der Modelle ansetzt (Rivadeneira et al., 2007; Bateman et al., 2008; Hearst und Rosner, 2008). Besonders oft angeboten werden demnach Halterungen und Hüllen für Smartphones und Objekte, die in Verbindung mit Spielkonsolen eingesetzt werden. Des Weiteren wird, der Abbildung nach zu urteilen, häufig Schmuck in Form von Ringen, Anhängern und Halsketten aus Silber und Gold angeboten.

Top Ten

Die zuvor aufgeführten Analysen beschreiben den Katalog und vermitteln eine Übersicht über das vorhandene Angebot. Eine aussagekräftige Analyse der Nachfrage bzw. des Erfolgs einzelner Produkte ist nur bedingt möglich, da die öffentlich verfügbaren Produktseiten keinerlei Informationen über die tatsächlich getätigten Käufe enthalten. Tabelle 3.10 enthält eine Rangliste der im Jahr 2015 am häufigsten gekauften Produkte des Marktplatzes (Muzumdar, 2015). Die von Shapeways veröffentlichte Rangliste wurde zur Veranschaulichung um weitere Informationen ergänzt.

3.4.1.4 Diskussion

Aufgrund des Funktionsprinzips der additiven Fertigungstechnologie ist es Shapeways möglich Produkte zu fertigen, die auf dem konventionellen Weg nicht hergestellt werden können. Dennoch sieht sich das Unternehmen vor allem durch zwei technische Hürden eingeschränkt: Größe und Material (Banse und Weijmarshausen, 2012, 6:10 min). So sind selbst die größten im Moment verfügbaren Anlagen nicht in der Lage, Objekte mit einer Kantenlänge von mehr als 80 cm in einem einzigen Produktionsschritt zu fertigen. Zwar sind bereits diverse Materialien verfügbar, jedoch ist die Auswahl, verglichen mit den Möglichkeiten traditioneller Verfahren, immer noch äußerst eingeschränkt. Auch die simultane Verarbeitung verschiedener Materialien in einem additiven Fertigungssystem, wie sie beispielsweise zur Fertigung elektronischer Bauteile nötig wäre, ist derzeit noch nicht möglich.

Entscheidend für den Erfolg des Unternehmens ist dessen Preispolitik. Um Endkunden eine additive Fertigung mit qualitativ hochwertigen, industriellen Anlagen anbieten zu können, bündelt Shapeways eingehende Bestellungen. Die geschickte Anordnung möglichst vieler Produkte im Bauraum der Fertigungsanlagen sowie die

Tabelle 3.10: Top Ten der meistverkauften Produkte im Jahr 2015 (Muzumdar, 2015).

Rang	Name	Designer	Kategorie	Preis [€]	Favoriten	Kommentare
1	Pocket Clip for Fitbit Flex	TomBot	Tech	9,61	31	28
2	CW Blackjack Upgrade "Gun-Axe"	fakebuser83	Games	8,55	37	43
3	GoPro Zenmuse Bracket H3 3D	Boarz	Tech	12,62	16	19
4	Thorn Dice Set with Decader	ceramicwombat	Games	105,83	442	279
5	Microsoft Band Charging Stand	SeanHodgins	Tech	16,04	29	27
6	Jebediah Kernan on IVA	KerbalSpaceProgram	Games	50,23	127	26
7	Replacement Clips Betrayal - Single Player	raso	Games	5,34	24	11
8	GoPro Zenmuse H3-2D Gimbal Transport Lock (V2)	fusionimaging	Tech	10,68	4	3
9	Helmet NVG Mount for GoPro Cameras	BrainExploder	Tech	32,06	31	76
10	Moto 360 Bumper Case - Tall, Gen 1	raelx	Tech	8,54	35	20

Anmerkung: Die Informationen zu den aufgeführten Produkten wurden am 02.09.2016 erfasst. Die hier aufgeführte Kategorie „Tech“ ist auf eine Umbenennung der Kategorie „Gadgets“ Ende August 2016 zurückzuführen (Rydberg, 2016).

zeitliche Koordinierung der Produktionsprozesse sind dabei die kritischen Schlüsselfaktoren. Sie haben somit einen erheblichen Einfluss auf die Preisstruktur des Unternehmens. Obwohl die Preise seit Gründung des Unternehmens bereits um den Faktor vier reduziert werden konnten, ist Shapeways weiterhin bemüht die fertigungsbedingten Kosten stetig zu senken (Banse und Weijmarshausen, 2012, 8:24 min).

Die Einbeziehung von Designern und die Integration der Shops ist ein wesentlicher Bestandteil des Erlös- und Geschäftsmodells von Shapeways. Für das Unternehmen ist es essentiell neue Designer anzuwerben, um hierdurch wiederum neue Kunden für den 2-seitigen Markt zu gewinnen. Um die Attraktivität der Plattform zu steigern, ist Shapeways deshalb bemüht, bestehende Werkzeuge für Designer zu verbessern und neue zu entwickeln. Im März 2013 wurde hierzu eine neue Programmierschnittstelle für Entwickler veröffentlicht (Richardson, 2013a). Die Application Programming Interface (API) ermöglicht den Upload von 3D-Modellen und die instantane Berechnung der Fertigungskosten aus Web- und Desktopanwendungen heraus. Außerdem ist es mithilfe der API erstmals möglich, direkt aus Anwendungen Bestellungen zu tätigen. Technisch versierten Designern stellt Shapeways mit „ShapeJS“ seit November 2013 eine eigene Programmiersprache und Entwicklungsumgebung zur Verfügung (Richardson, 2013b). Mithilfe der auf JavaScript (JS) basierten Sprache können dreidimensionale Objekte modelliert werden. Durch den textbasierten, parametrischen Ansatz – ähnlich zu OpenSCAD – können die Modelle bzw. Produkte durch Kunden individualisiert werden. Die Vorstellung der Version 2.0 der Skriptsprache im März 2016 verdeutlicht das Interesse sowohl auf Seiten der Designer als auch auf Seiten des Unternehmens (Hudson, 2016).

Seit September 2010 konnte Shapeways insgesamt 77,5 Millionen US-Dollar Finanzierung einwerben. Allein 30 Millionen entfallen auf die letzte Finanzierungsrunde Mitte 2015 (Shapeways, 2015). Das Kapital soll nach eigenen Angaben in die Community investiert und dazu genutzt werden, neue Features und Materialien für die Plattform zu entwickeln. Zudem bestehen Partnerschaften mit Anlagenbauern, um die Geschwindigkeit und Qualität der gefertigten Produkte kontinuierlich zu verbessern (Shapeways, 2015; Weijmarshausen, 2016).

3.4.2 Thingiverse

Thingiverse

Abbildung 3.39: Thingiverse-Logo.

Der immense Hype rund um das Thema „Consumer 3D Printing“ führte in den vergangenen Jahren zu zahlreichen Neugründungen. Diese fanden nicht nur in den Bereichen Hard- und Software statt, sondern vor allem auch in Form internetbasierter Plattformen (Wohlers und Caffrey, 2013b; West und Kuk, 2016). Die Online-Plattform und -Community *Thingiverse* wurde 2008 ins Leben gerufen und hat sich auf den kostenfreien Austausch nicht-kommerzieller 3D-Druck-Modelle spezialisiert (Baichtal, 2008). Thingiverse bezeichnet sich selbst als weltweit größte 3D-Druck-Community und ist bei den Nutzern äußerst populär (Evans, 2012; Horsch, 2013; Nitz, 2014). Die Plattform erlaubt ihren Nutzern, dreidimensionale Modelle kostenlos hochzuladen und mit anderen interessierten Nutzern unter offenen Lizenzen zu teilen. Um die Verbindung zwischen einem digitalen Modell und dem gedruckten, realen Objekt zu verdeutlichen, werden Objekte innerhalb der Plattform als „*Thing*“ bezeichnet. Im Januar 2010 führt Shapeways ein Interview mit Bre Pettis, einem der Gründer der Plattform. Auf die Frage was Thingiverse so besonders macht, antwortet Pettis wie folgt:

„We built Thingiverse because we needed a place to share our designs so we wouldn't lose them and so our friends could make what we had made and then modify those designs and make them better. The community is amazing and supportive, and it's also a lot of fun. There is no other place that you can share a design for a physical thing and people around the world will make their own copies within minutes [...]. It's that kind of sharing magic that makes Thingiverse the closest thing to teleportation that we've got in this solar system.“ (Peels, 2010)

Die Popularität und das Interesse an der Webseite spiegeln sich vor allem im rasanten Wachstum wider, das in Abbildung 3.40 grafisch veranschaulicht wird. Besteht die Plattform Ende 2012 – gut drei Jahre nach Gründung – noch aus lediglich ca. 25.000 Objekten, so wird die Marke von 100.000 Objekten bereits im Jahr 2013 überschritten. Im Oktober 2015 erreicht die Plattform mit über einer Million Modellen, die insgesamt über 200 Millionen Mal heruntergeladen wurden, einen weiteren Meilenstein (Echevarria, 2015).

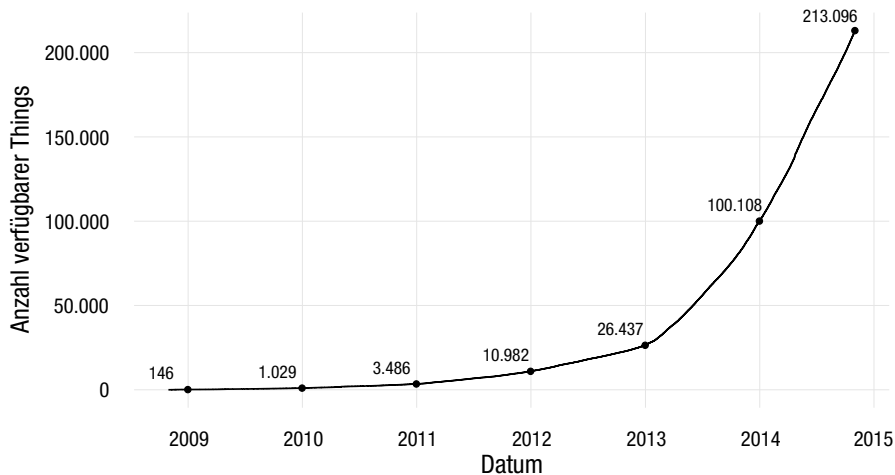


Abbildung 3.40: Wachstum der Plattform Thingiverse im zeitlichen Verlauf.

3.4.2.1 Geschäftsmodell

In der Wertschöpfungskette der additiven Fertigung lässt sich Thingiverse als Intermediär einordnen, der Endkunden einen einfachen Zugang zu 3D-Modellen ermöglicht (vgl. Abschnitt 3.1). Das Geschäftsmodell der Plattform entspricht dem des *Modellkatalogs* für nicht-kommerzielle Designs (vgl. Abschnitt 3.2.2.2). Insbesondere die Tatsache, dass Designer ihre Modelle seit Februar 2012 nur noch unter offenen Lizenzen veröffentlichen können, hat dazu beigetragen, dass sich eine lebhafte Community entwickelt hat (McCarthy, 2012; West und Kuk, 2016). Diese Community stellt das Alleinstellungsmerkmal der Plattform dar.

Gegründet wurde die Plattform von MakerBot, einem Hersteller von Desktop-3D-Druckern. Zum damaligen Zeitpunkt verfolgte die Plattform kein eigenständiges Erlösmodell, sondern wurde zur Förderung des Absatzes der firmeneigenen Desktop-3D-Drucker ins Leben gerufen (West und Kuk, 2016). MakerBot wiederum wurde im Juni 2013 von Stratasys, einem Hersteller professioneller Fertigungsanlagen, übernommen, um das Unternehmensportfolio zu erweitern (Stratasys, 2013). Infolgedessen lässt sich auch eine Neuausrichtung bzw. Erweiterung des Geschäftsmodells erkennen, die anhand von Abbildung 3.41 näher erläutert wird:

Im Zentrum des Geschäftsmodells steht weiterhin der Modellkatalog mit einer Vielzahl an Things, die von Designern unter offenen Lizenzen angeboten werden. Ein Erlösmodell lässt sich erstmals in Zusammenhang mit der Einführung eines neuen Entwicklerprogramms im April 2016 erkennen (Broer, 2016; MakerBot, 2016). Im

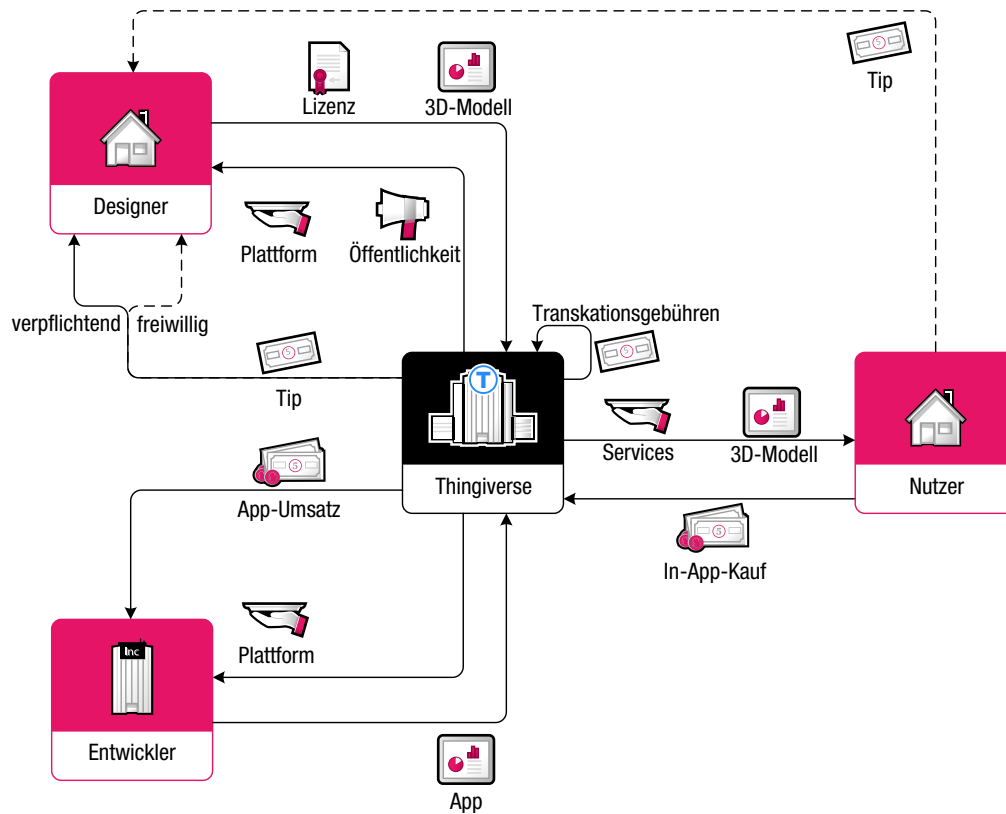


Abbildung 3.41: Thingiverse Geschäftsmodell: Modellkatalog.

Zuge des Programms besteht die Möglichkeit, Designern, die einen PayPal-Account hinterlegt haben, auf freiwilliger Basis einen sogenannten „Tip“ zukommen zu lassen. Diese finanzielle Zuwendung geht ohne Abzug zu 100 % an den jeweiligen Designer. Neu für Entwickler ist auch die Möglichkeit, sogenannte „Thing Apps“ anzubieten. Hierbei handelt es sich um Webapplikationen, die direkt in die Thingiverse-Webseite eingebettet werden. Die Plattform unterscheidet drei unterschiedlichen Kategorien von Thing Apps:

- *Customization*: Die App erlaubt die Anpassung oder das Remixen von Things, die bereits auf der Plattform veröffentlicht wurden.
- *Printing*: Eine Druckenwendung ermöglicht es, Things über externe Druckdienstleister oder über direkt verbundene Desktop-3D-Drucker fertigen zu lassen.
- *Tools & Utilities*: Apps aus dieser Kategorie bieten diverse Services an, die auf der Thingiverse-API aufbauen.

Entwickler haben die Möglichkeit die Nutzung ihrer jeweiligen App völlig kostenfrei anzubieten oder bestimmte Services, wie beispielsweise die externe Fertigung durch einen Druckdienstleister, über In-App-Käufe in Rechnung zu stellen. Tätigt ein Nutzer einen solchen In-App-Kauf über die bei Thingiverse eingebettete App, wird dieser durch die Plattform abgewickelt. Hierfür behält Thingiverse transaktionsabhängige Gebühren ein. Designer haben weitreichende Möglichkeiten in Bezug auf Thing Apps. Sie müssen zunächst je Kategorie oder einzelner App die Erlaubnis zur Nutzung ihrer Things erteilen. Anschließend haben Sie die Option einen freiwilligen oder verpflichtenden Tip bei Nutzung durch eine App zu fordern. Auch dieses Trinkgeld geht zu 100 % an den Designer. Der übrige Betrag wird dem jeweiligen Entwickler für den geleisteten Service gutgeschrieben. Das erläuterte Erlösmodell bzw. der Geldfluss ist in Abbildung 3.41 grafisch skizziert.

3.4.2.2 Wettbewerb

Konkurrenten von Thingiverse stellen alle Online-Plattformen dar, die kostenfrei dreidimensionale Modelle anbieten, die für die additive Fertigung mittels Desktop-3D-Druckern konzipiert sind. Tabelle 3.11 listet fünf verschiedene Plattformen, die die genannten Kriterien erfüllen, aufsteigend nach der Anzahl der verfügbaren Modelle (Charron, 2016).

Seit März 2014 existiert die Plattform „Repables“, die sich als unabhängiges, Nonprofit-Repository positioniert hat. Repables kann aktuell lediglich 565 Modelle vorweisen. Zum Vergleich: Bei Thingiverse werden momentan ca. 300 neue Things pro Tag hochgeladen. „Cults“ startete als französischsprachiger Marktplatz, der mittlerweile internationalisiert wurde. Die Betreiber betonen vor allem die sozialen Funktionen der Plattform und bewerben diese nicht nur als Datenbank für Modelle,

Tabelle 3.11: Konkurrierende Plattformen.

Plattform	Anzahl der Modelle
Repables	565
Cults *	6.144
YouMagine	9.608
pinshape *	19.468
MyMiniFactory	23.995

Anmerkung: Die Anzahl der Modelle wurde am 14.09.2016 erfasst.

*: Plattform enthält auch kostenpflichtige Modelle.

sondern als soziales Netzwerk für 3D-Druck-Enthusiasten. Die 3D-Modell-Plattform „YouMagine“ geht auf den niederländischen 3D-Drucker-Hersteller Ultimaker zurück, der diese im Juli 2014 ins Leben gerufen hat (Peels, 2014). Im Vordergrund steht der Open-Source-Gedanke bzw. der Austausch und die Kollaboration unter Designern (von Hippel und von Krogh, 2003). Da bestehende Lizenzen nicht auf den 3D-Druck zugeschnitten sind, wurde eine spezielle Lizenz für 3D-Modelle entwickelt, die die Weiterentwicklung, das Remixen und die Individualisierung erlaubt. Die Betreiber der Plattform bezeichnen diese als „3D Printing License (3DPL)“ (Peels, 2015). Mit derzeit knapp 20.000 Modellen gehört „pinshape“ zu den in Bezug auf die Anzahl der Modelle größten Mitbewerbern von Thingiverse. Pinshape wirbt mit einer durch die Plattform gepflegten Auswahl an qualitativ hochwertigen Modellen. Die sozialen Features der Plattform lassen sich mit denen von Thingiverse vergleichen. „MyMiniFactory“ startete im Jahr 2013 und bezeichnet sich selbst als weltweit führende soziale Plattform für kuratierte 3D-Modelle. Wie beim Wettbewerber Thingiverse werden auch hier alle Modelle kostenlos zum Download angeboten. Designer haben jedoch die Möglichkeit über Spenden oder den Verkauf gedruckter Designs Einnahmen zu erzielen.

Es zeigt sich, dass Thingiverse bis heute von seiner Vorreiterrolle und dem frühen Start der Plattform profitiert (vgl. Abschnitt 3.1.4). Hierdurch wird auf bestehende und neue Nutzer ein Netzwerkeffekt ausgeübt, der es konkurrierenden Plattformen erschwert im Markt Fuß zu fassen (Shapiro und Varian, 1999). Die Wettbewerber, die vor allem im Anschluss an die Übernahme von MakerBot durch Stratasys entstanden, haben es bisher nicht geschafft, die Größe und Popularität von Thingiverse zu erreichen.

3.4.2.3 Deskriptive Analyse

Thingiverse besitzt den größten Modellkatalog frei verfügbarer dreidimensionaler Modelle, die innerhalb der Plattform als Things bezeichnet werden. Dieser Modellkatalog soll im Folgenden deskriptiv analysiert werden. Analog zum vorherigen Beispiel wurde auch hier auf einen eigens entwickelten Webcrawler zurückgegriffen, um die relevanten Metadaten der einzelnen Things zu erfassen (vgl. Abschnitt 3.4.1.3)

Der analysierte Datensatz stellt eine Momentaufnahme von Thingiverse im Oktober 2014 dar und besteht aus insgesamt 216.541 Things, die auf der Plattform zur Verfügung stehen. Für die nachfolgenden Analysen wurden 378 Things entfernt,

die gegen die Nutzungsbedingungen der Plattform verstoßen, weil sie beispielsweise Waffen zeigen. Außerdem wurden 13 Things aufgrund von Urheberrechtsverstößen entfernt. Weitere 3.054 Things wurden aus dem Datensatz herausgefiltert, da diese nicht unter einer offenen Lizenz veröffentlicht wurden und aus diesem Grund nicht weiter verwendet werden dürfen. Zu beachten ist hierbei, dass seit einer Anpassung der Nutzungsbedingungen im Februar 2012 generell nur noch offene Lizenzen zur Verfügung stehen. Der für die nachfolgenden Analysen herangezogene Datensatz besteht dementsprechend aus 213.096 Things. Aufgrund des offenen Charakters der Plattform, die auf eine agile Community angewiesen ist, wird eine Vielzahl an Informationen zur Verfügung gestellt. Abbildung 3.42 zeigt den Screenshot einer Thing-Detailseite, in dem die durch den Crawler erfassten Informationen gekennzeichnet sind:

1. Name

Der *Name* bzw. die Bezeichnung eines Things wird vom Designer beim Uploaden und Einpflegen in den Modellkatalog vergeben. Dieser muss nicht eindeutig sein, da das Thing über eine eindeutige ID identifiziert wird.

2. Designer

Analog zu Shapeways werden auch bei der Plattform Thingiverse Namen von *Designern* nur einmalig vergeben. Die Profileseiten der Designer lassen sich so einfach innerhalb der Plattform aufsuchen.

3. Veröffentlichung

Der Zeitpunkt der *Veröffentlichung* eines Things ist auf der Detailseite ersichtlich. Auch bei Anpassungen der Profileseite eines Things ändert sich der Zeitpunkt der Veröffentlichung nicht.

4. Likes

Ein Thing kann von registrierten Nutzern der Plattform gelikt werden. Die Anzahl der *Likes* sowie die einzelnen Nutzer, die von dieser Funktionalität Gebrauch gemacht haben, werden auf der Webseite angezeigt.

5. Sammlungen

In *Sammlungen* können Nutzer seit Ende 2012 Things in Form von Listen organisieren (MakerBot, 2012a). Standardmäßig besitzt jeder Nutzer bereits

Parametric Music Box
 Wizard23 Published Mar 8, 2013

1 2 3

4 Like 2950
 5 Collect 3459
 6 Comment 103
 7 I Made One 36
 8 Remix it 1478
 9 Share

10

11

12

13 175230 Views
 14 15734 Downloads
 15 Found in Mechanical Toys

16

17

18

19

Summary
 CUSTOMIZER CHALLENGE CONTEST WINNER - Artistic Category
 This is a 100% printed customizable music box!
 Only 3D printed parts are used in the design and it can be assembled and disassembled via printed snapping mechanisms.
 The project originated when a friend of mine said that he'd only be interested in 3D printing once he can print a music box ;)
 Videos
<http://youtu.be/LUlovenl9xQ>
http://youtu.be/K_c3p24RRtQ (made by banthafodder7400)
<http://youtu.be/exNeQDz7Qg>
 I'll try to keep the .scad file on this page updated but to help me to manage the design and to make it easier for others to contribute: <https://github.com/wizard23/ParametrizedMusicBox>

Instructions

Updates 2013-11-24 Updated link to generator page (old webserver is offline) 2013-03-10 (V3) Added optional Name of Song on top/bottom of MusicCylinder; fixed build plate positioning of pulley that messed up smaller customized versions; cleanup and clarification of descriptions; implemented work around for customizer hiccup when strings start with a '1' 2013-03-08 (V2) removed 'work in progress status', fully test printed It's very important to put the music box on a sounding box to get good sound quality. I found that large cardboard boxes and some tables make good sounding boxes. A guitar or a piano should work even better! A complete music box consists of 8 parts: Case: the large thin walled part that holds the vibrating teeth and holds everything together Music Cylinder: the large cylinder with the pins (that encode the music) sticking out Transmission gear: sits between the crank gear and the music cylinder Crank gear: drives everything; connects to crank (insert it through the round hole in the case) Crank: for manually driving the box; connects to crank gear and crank pulley Pulley: for holding the crank while turning it With the default parameters you get a complete building plate that can play one full octave range (13 half notes from C to C) in a medium footprint that should fit in most printers. You can enable each part individually to make smaller print plates. I customized a "FrAAA re Jaques" music cylinder that is compatible with the default parameters: <http://www.thingiverse.com/thing:56242>
How to adapt the snapping mechanisms I printed this in PLA. So if you print it in ABS (or if your printer is differently calibrated than mine) you might have to adapt the snap fit: If one of the gears are too hard to snap in you have to lower "crankAxisHolderH", "midAxisHolderH" or "musicAxisHolderH" depending on which gear causes the problem. If one of the gears seem to sit too loose once they are snapped in you have to lower "snapAxisSlack" **Ways to get notes that you can then use in Customizer 1. Manual (read this anyway to understand how the music is encoded)** The "pins" variable contains characters that encode the pins on the music cylinder. These pins pluck long teeth that then vibrate and emit a certain note. The number of available different notes/vibrating teeth is given in "pinNx". The number of time slots/length of the song is given by "pinNy". For each time slot the "pins" string contains "pinNx" many characters that determine if a pin should be generated for this specific note at this specific time slot. If the character is an 'X' there will be a pin (and the note will be played) any other character means: no pin. The actual frequency of the vibrating teeth are described in "teethNotes". Be careful with long songs: If the pins are spaced too close together, i.e. if you try to fit a long song on a cylinder with small radius (derived from the number of teeth of the gear on the bottom of the music cylinder) then the closely spaced pins collide with the teeth and you hear a snare sound. While it's an interesting sound effect you generally want to avoid it by adapting the size of the music cylinder to the length of the song ("pinNy"). For the default parameters I recommend at least 5mm distance from pin to pin. Tune this distance by adapting "musicCylinderTeeth". A tip if you want to make a new Music Cylinder for an already printed music box: Don't change any other parameter except the "pins" and "pinNy"! Well some other parameters can be changed but it's tricky... **2. JavaScript to generate the Pins-String** Stefan (the mentioned friend of mine) wrote this nice little JavaScript application for

Tip Designer
 Report Thing

Thing Info
 175230 Views
 15734 Downloads
 Found in Mechanical Toys

Makes
 View More >

Remixed From
 Automatic Transmission Model by emmett

Liked By
 View All >

Tags
 ART Artistic Customizer
 Customizer_Challenge GEARS High_school
 MUSIC music_box operacat STEAM
 STEM TOY TVY

License
 Parametric Music Box by wizard23 is licensed under the Creative Commons - Attribution license.

Abbildung 3.42: Screenshot einer Thingiverse-Detailseite mit Annotation der beim Crawling erfassten Informationen.

die Sammlung „Things to Make“. Sämtliche Sammlungen aller Designer sind öffentlich zugänglich.

6. Kommentare

Auch alle zu einem Thing abgegebenen *Kommentare* sind öffentlich sichtbar. Durch die Kommentarfunktion besteht die Möglichkeit der Interaktion zwischen Designer und Nutzer auf Thing-Ebene. Bei der Erhebung der Daten wurde die Anzahl der Kommentare je Thing erfasst.

7. Mades

Als *Mades* werden von Nutzern gemeldete, erfolgreiche Drucke eines Things bezeichnet. Jeder angezeigte Made beinhaltet deshalb auch stets ein Foto des gedruckten Things. Mades geben einen Hinweis darauf, wie praxistauglich ein Design ist. Beim Crawlen wurde jeweils die Anzahl an Mades aus der Webseite extrahiert.

8. Remix

Ein *Remix* ist ein Thing, das auf einem oder mehreren anderen Things basiert. Die hierdurch nachvollziehbaren „Eltern-Kind-Beziehungen“, insbesondere im Kontext der Wiederverwendung von Wissen, ist ein vielversprechender Untersuchungsgegenstand, der Einblicke in die Entstehung neuer Ideen ermöglicht. Auf den Themenkomplex Remix wird deshalb in Kapitel 4 detailliert eingegangen.

9. Customizer

Spezielle Things, die von Nutzern relativ einfach anhand vordefinierter Parameter individualisiert werden können, werden als *Customizer* bezeichnet (MakerBot, 2013; Pelkey, 2013; Alcock et al., 2016). Customizer sind deshalb prädestiniert geremixt zu werden (Kyriakou et al., 2017). Innerhalb von Thingiverse lassen sich Customizer mithilfe von OpenSCAD realisieren (vgl. Abschnitt 2.4.4). Abbildung 3.42 zeigt einen Customizer in Form einer individualisierbaren Spieluhr.

10. Empfehlung

In Form eines Badges spricht Thingiverse *Empfehlungen* für bestimmte Things aus. Sogenannte „Featured Things“ sind besonders ansprechende, innovative Designs (Hannum, 2013a). Wurde ein Thing durch die Betreiber der Plattform

erfolgreich gefertigt, erhält dieses eine Empfehlung als „MakerBot Verified File“ (Hannum, 2013b).

11. Abbildung

Zu jedem Thing existiert eine *Abbildung*, die auf der Profilseite populär platziert ist. Analog zu Shapeways wird auf Basis des hinterlegten Modells eine interaktive Vorschau erstellt. Zudem haben Designer die Möglichkeit eigene Bilder oder Videos zu hinterlegen. Auch hier wurde beim Crawling jeweils die URL der Abbildung gespeichert, die beim Aufrufen der Webseite standardmäßig angezeigt wird.

12. Dateien

Ein Thing kann aus einer oder mehreren *Dateien* bestehen. Für die einzelnen Dateien wurden jeweils der Dateiname, die Größe und der Zeitpunkt der letzten Aktualisierung erfasst.

13. Aufrufe

Für jedes Thing ist ersichtlich, wie oft dieses seit seiner Veröffentlichung aufgerufen wurde. Die Anzahl der *Aufrufe* ist ein Indikator, wie populär bzw. gefragt ein Thing ist. In Relation zur Veröffentlichung lässt sich berechnen, wie viele Aufrufe ein Thing durchschnittlich pro Tag erhalten hat.

14. Downloads

Die *Downloads* zeigen an, wie oft ein Thing bzw. die Dateien eines Things heruntergeladen wurden. Neben den Aufrufen sind die Downloads ein weiterer Indikator für die Nachfrage.

15. Kategorie

Wie mittlerweile bei allen Plattformen üblich, ist auch bei Thingiverse der Modellkatalog in unterschiedliche *Kategorien* unterteilt. Eingeführt wurden diese jedoch erst nachträglich im Juni 2012 (MakerBot, 2012b). Folgende Kategorien stehen zur Verfügung: 3D Printing, Art, Fashion, Gadgets, Hobby, Household, Learning, Models, Tools und Toys & Games. Falls ein Thing nicht kategorisiert ist, wird es im Folgenden der Kategorie Other zugeordnet.

16. Beschreibung

Jeder Designer hat die Möglichkeit eine *Beschreibung* zu verfassen. Der auf der Webseite als „Thing Details“ bezeichnete Reiter führt zum Beschreibungstext, der neben allgemeinen Informationen oftmals auch weiterführende Links enthält.

17. Eltern

Ist ein erfasstes Thing selbst ein Remix, so besitzt dieses „*Eltern*“. Die Eltern eines Things werden auf der Webseite unter „Remixed From“ aufgelistet und verlinkt. Für jedes Thing werden somit alle direkten Vorgänger und Nachfolger erfasst.

18. Tags

Ein Designer hat die Möglichkeit *Tags* zu vergeben und sein Thing so auf Basis verschiedener, frei wählbarer Schlagworte zu beschreiben. Im Gegenzug haben Nutzer die Möglichkeit nach Tags zu suchen.

19. Lizenz

Seit einer Anpassung der Nutzungsbedingungen im Februar 2012 stehen für die Veröffentlichung von Things nur noch offene *Lizenzen (19)* zur Verfügung, die den Download und die weitere Verwendung von Things erlauben. Die Plattform setzt vornehmlich auf Creative Commons (CC) Urheberrechtslizenzen (Laurent, 2004). Der Einsatz dieser Lizenzen und die damit verbundene Verpflichtung die ursprünglichen Quellen bzw. Eltern eines Things anzugeben, ermöglicht weitere Analysen.

Die erfassten Informationen, nebst zugehöriger kurzer Beschreibung, sind in Tabelle 3.12 aufgelistet. Die darauf folgende Tabelle 3.13 gibt einen Überblick über die im Datensatz erfassten Things bzw. Informationen.

Tabelle 3.12: Übersicht der erfassten Informationen des Thingiverse-Datensatzes.

Nr.	Information	Beschreibung
1	Name	Ein Designer weist einem Thing einen Namen zu.
2	Designer	Der Benutzername des Designers innerhalb von Thingiverse.
3	Veröffentlichung	Zeitpunkt der Veröffentlichung des Things auf der Plattform.
4	Likes	Anzahl der Nutzer, die das Thing gelikt haben.
5	Sammlungen	Anzahl der Sammlungen, in die das Thing aufgenommen wurde.
6	Kommentare	Anzahl der Kommentare, die zum Thing abgegeben wurden.
7	Mades	Anzahl der durch Nutzer gemeldeten, tatsächlichen Drucke.
8	Remix	Anzahl der Remixe eines Things.
9	Customizer	Customizer sind Things, die einfach individualisiert werden können.
10	Empfehlung	Things können durch die Betreiber der Plattform empfohlen sein.
11	Abbildung	Vorschau des Things in Form eines Bildes oder 3D-Modells.
12	Dateien	Detaillierte Informationen zu den CAD-Dateien des Things.
13	Aufrufe	Anzahl der Aufrufe der Thing-Detailseite.
14	Downloads	Anzahl der Downloads eines Things.
15	Kategorie	Kategorie, der das Thing zugeordnet ist.
16	Beschreibung	Beschreibungstext des Things.
17	Eltern	Liste der Eltern eines Things, das selbst Remix ist.
18	Tags	Liste der durch den Designer zugewiesenen Tags.
19	Lizenz	Informationen zur Lizenz, unter der das Thing veröffentlicht ist.

Tabelle 3.13: Charakteristiken der bei Thingiverse geführten Things ($N = 213.096$).

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Aufrufe	1.156,12	4.195,24	0	310	621.184
Aufrufe pro Tag	3,92	14,84	0,00	1,31	2.911,00
Downloads	240,65	1.070,20	0	63	147.515
Downloads pro Tag	0,85	3,39	0,00	0,28	386,00
Likes	10,07	44,09	0	1	2.512
Sammlungen	12,63	53,73	0	1	3.167
Kommentare	0,85	4,50	0	0	860
Mades	0,36	2,88	0	0	384
Empfehlungen	0,02	0,14	0	0	1
Customizer	0,01	0,10	0	0	1
Eltern	0,57	0,57	0	1	10
Remixe	0,56	27,38	0	0	7.224
Tags	2,32	3,21	0	1	185
Dateien	1,90	3,22	1	1	464
Größe [MB]	3,41	17,19	0,00	0,51	2.868,37
Alter [Tagen]	367,60	326,97	1	283	2.193

Kategorien

Thingiverse setzt auf insgesamt elf verschiedene Kategorien. Abbildung 3.43 gibt eine Übersicht über die absolute Anzahl an Modellen je Kategorie sowie jeweils über die durchschnittlichen Aufrufe und Downloads je Thing in der jeweiligen Kategorie. Die Größenordnungen deuten an, dass ein Thing durchschnittlich in etwa 10^3 Mal aufgerufen wurde. Das Verhältnis von Aufrufen zu Downloads ist ca. 10:1 bzw. führt etwa einer von zehn Aufrufen zu einem Download des Things.

Lediglich rund 10,3% der Things des Modellkatalogs sind der unspezifischen Kategorie „Other“ zugeordnet. Dies spricht dafür, dass die vorhandenen Kategorien den Modellkatalog gut beschreiben und durch die Designer angenommen werden. Die Kategorien „3D Printing“, „Gadgets“, „Hobby“, „Learning“, „Models“, „Tools“ und „Toys & Games“ kommen jeweils auf einstellige prozentuale Anteile.

Rund 18,8% aller verfügbaren Things sind der Kategorie „Art“ zugeordnet. Sie bildet damit, in Bezug auf die Anzahl der Modelle, die größte Kategorie. Unterkategorien sind hier unter anderem Werkzeuge für Künstler, mathematische Kunst oder Skulpturen. Abbildung 3.44 zeigt beispielhaft vier unterschiedliche Things der Kategorie Art.

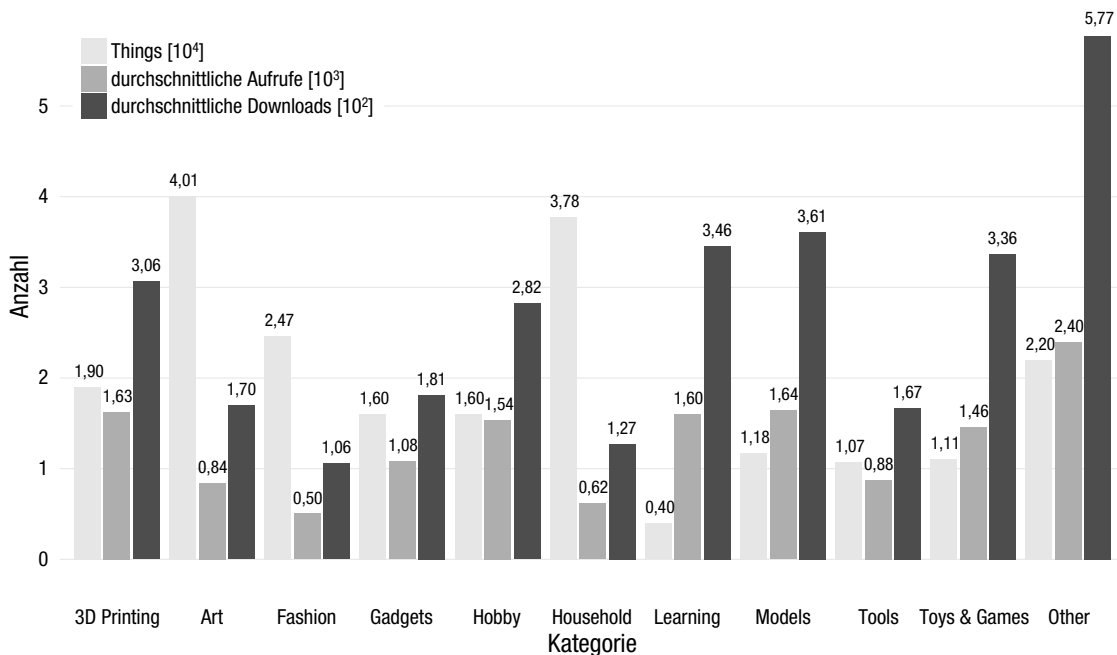


Abbildung 3.43: Anzahl an Things, durchschnittliche Downloads und Aufrufe je Kategorie.

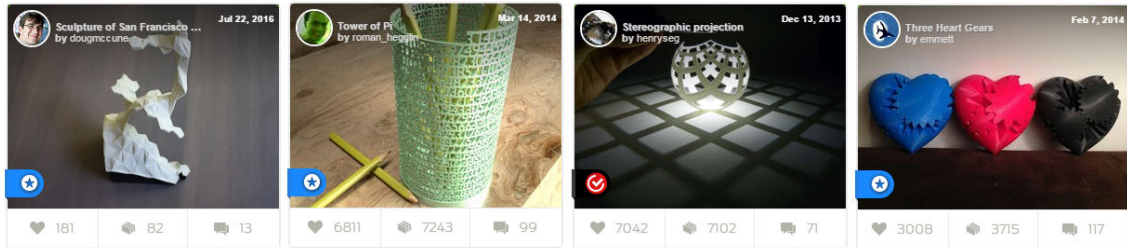


Abbildung 3.44: Things der Kategorie „Art“.

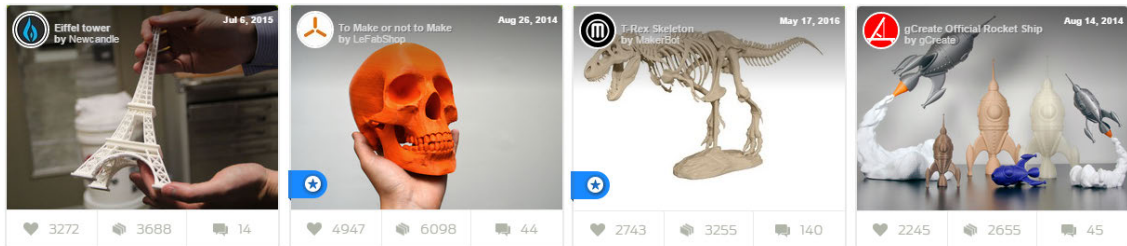


Abbildung 3.45: Things der Kategorie „Models“.

In „Models“ sind zwar nur unterdurchschnittlich viele Things, jedoch werden diese überdurchschnittlich oft heruntergeladen. Enthalten sind verschiedenste Modelle beispielsweise von Tieren, Personen, Fahrzeugen oder Gebäuden. Vier Things der Kategorie finden sich in Abbildung 3.45.

Designer

Da bei Thingiverse, anders als bei Shapeways, Modelle nicht zum Verkauf, sondern zum kostenlosen Download angeboten werden, existieren hier keine Shops im eigentlichen Sinne. Things lassen sich dennoch ihrem jeweiligen Designer zuordnen. Der untersuchte Datensatz enthält insgesamt 52.030 Designer, die mindestens ein Thing auf der Plattform veröffentlicht haben. Ähnlich wie bei Shapeways hat die Mehrheit der Designer nur wenige Designs veröffentlicht ($Q_{0,25} = 1$; $Q_{0,5} = 2$). Nur 8,8% haben zehn oder mehr Things veröffentlicht. Insgesamt 59 Designer bieten über 100 Things zum freien Download an. Aufgrund der starken Streuung der Anzahl an Things je Designer wurde eine log-Transformation durchgeführt. Abbildung 3.46 zeigt das resultierende Histogramm.

Nachfolgend werden die drei produktivsten Thingiverse-Designer kurz vorgestellt. Hinter dem Designer „EdSciFest“ verbirgt sich der Account des „Edinburgh International Science Festival“. Der Account enthält insgesamt 1543 dreidimensionale Scans

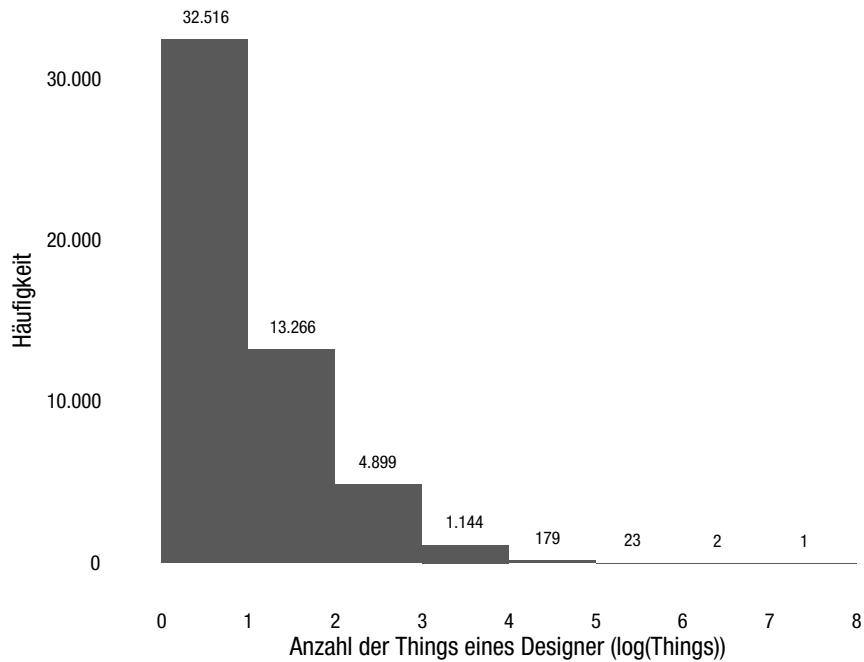


Abbildung 3.46: Verteilung der Anzahl der Things eines Designers.

von Personen, die während des Festivals erstellt und anschließend über Thingiverse veröffentlicht wurden. Insgesamt 706 Things wurden durch den Designer „lokilaufeysen“ veröffentlicht. „cerberus333“ beschreibt sich selbst als Künstler, Maker und Ingenieur. Innerhalb des Datensatzes lassen sich dem Designer 474 unterschiedliche Things zuordnen.

Tags

Auch Thingiverse besitzt die Funktionalität Things durch Begriffe bzw. Schlagworte zu beschreiben, die durch den Designer frei gewählt werden können. Im Unterschied zu Shapeways fällt bei der Tag Cloud von Thingiverse in Abbildung 3.47 auf, dass vor allem die Anpassbarkeit der freien Modelle im Vordergrund steht („customized“, „openscad“, „customizer“, „parametric“). Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass eine Vielzahl der Things für bestimmte bestehende Produkte („arduino“, „raspberrry“, „gopro“) oder Desktop-3D-Drucker („makerbot“, „reprap“, „mendelmax“) entworfen worden ist. Darüber hinaus geben die Tags Hinweise auf die eingesetzte Modellierungssoftware („blender“, „sketchup“, „tinkercad“). Neben der Abbildungen sind in Tabelle 3.14 zusätzlich die absolute und die relative Häufigkeit der 15 am häufigsten vergebenen Tags aufgelistet ($N = 493.531$).

Tabelle 3.15: Top Ten der am häufigsten hergestellten Things.

Rang	Name	Designer	Kategorie	Veröffentlichung	Mades	Aufrufe	Downloads	Likes
1	3D Hubs Marvin - Key Chain	3DHubs	Models	30.12.2013	384	15.544	3.113	252
2	Cute Octopus Says Hello	MakerBot	Models	31.07.2012	292	98.181	32.074	1.422
3	Gear Bearing	emmett	Tools	23.02.2013	268	159.315	27.825	2.072
4	Owl statue	cushwa	Other	27.02.2012	250	72.579	12.564	758
5	Screwless Cube Gears	emmett	Art	01.08.2011	225	163.787	46.916	1.433
6	Nautilus Gears	Misha T	Art	24.07.2012	196	112.692	36.049	1.420
7	Whistle	Zaggo	Hobby	23.09.2009	193	97.641	24.937	607
8	Stretchy Bracelet	emmett	Fashion	11.11.2011	190	138.324	39.641	1.238
9	Screwless Heart Gears	emmett	Art	05.10.2011	179	162.933	52.848	1.260
10	Companion Cube Upgrade	Landru	Other	13.11.2011	146	74.879	20.988	1.114

Makerbewegung getroffen (von Hippel et al., 2011, 2012; West und Kuk, 2016). Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass Thingiverse heute die größte Online-Plattform und -Community für 3D-Druck-Modelle ist. Bis zuletzt verfolgte die Plattform selbst kein eigenes Erlösmodell, sondern wurde von MakerBot zur Förderung des Absatzes der firmeneigenen Desktop-3D-Drucker betrieben.

Im Juni 2013 wurde MakerBot von Stratasys, einem Hersteller professioneller Fertigungsanlagen, übernommen, um dessen Portfolio zu erweitern (Stratasys, 2013). Infolgedessen lässt sich auch eine Neuausrichtung bzw. Erweiterung des Geschäftsmodells erkennen, die erstmals eine Monetarisierung verfolgt. Thingiverse öffnet seine Plattform schrittweise und hat im April 2016 ein neues Entwicklerprogramm eingeführt (Broer, 2016; MakerBot, 2016). Entwickler haben die Möglichkeit, Apps völlig kostenfrei anzubieten oder bestimmte Services über In-App-Käufe in Rechnung zu stellen. Thingiverse wiederum ist über transaktionsabhängige Gebühren an den Umsätzen beteiligt. Im Rahmen des Programms wurde die Plattform auch um die Möglichkeit erweitert, Designern auf freiwilliger Basis ein „Trinkgeld“ zukommen zu lassen. Die Betreiber der Plattform sind sich darüber im Klaren, dass dieser Schritt, vor allem bei überzeugten Makern, die ihre Modelle bewusst unter offenen Lizenzen veröffentlicht haben, nicht nur auf Zuspruch stößt. Es ist deshalb nachvollziehbar, dass Thingiverse seinen Designern bzw. Nutzern die volle Kontrolle über ihre Things einräumt. Designer können frei darüber entscheiden, welcher Art von Apps sie Zugriff auf ihre Designs gewähren. Die Kontrolle ist dabei so granular ausgestaltet, dass die Berechtigungen je Thing individuell konfiguriert werden können.

Um den Modellkatalog und damit die gesamte Plattform auch zukünftig attraktiv zu halten, wurden verschiedene Kooperationen gestartet. MakerBot arbeitet beispielsweise mit dem Fernsehsender „Syfy“ zusammen (Cox, 2016). Im Rahmen der Kooperation bietet Syfy verschiedene 3D-Modelle, die auf Inhalten des Senders basieren, exklusiv auf Thingiverse an. Außerdem haben Thingiverse-Nutzer seit April 2016 die Möglichkeit Things auf den dezentral verteilten Desktop-3D-Druckern der Mitglieder von 3D-Hubs fertigen zu lassen – sofern der jeweilige Designer der Nutzung zugestimmt hat (Schoffer, 2016a). Den Nutzern von Thingiverse stehen damit prinzipiell mehr als 33.000 3D-Drucker in über 150 Ländern zur Verfügung (Garret, 2017).

Die sich abzeichnende Neuausrichtung der Plattform hat das Ziel Erlöse zu generieren. Die Schwierigkeit besteht darin, gleichzeitig am Grundsatz der Plattform

– dem freien Austausch von Wissen – festzuhalten und so die Erwartungen der breiten Nutzerschaft zu erfüllen. Da jeder Designer weiterhin über die Verwendung seiner Things bestimmen kann, bleibt die Online-Plattform und -Community dieser Überzeugung treu. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieses Vorgehen als zukunftsfähig erweist, da es nur dann erfolgreich sein kann, wenn sich ausreichend Designer dazu entschließen, ihre Modelle auch Drittanbietern zur Verfügung zu stellen.

3.5 Zwischenfazit

In diesem Kapitel wurde eine Übersicht über den Markt der additiven Fertigung und dessen Entwicklung gegeben. Die 3D-Druck-Branche wurde hierzu aus unterschiedlichen wirtschaftlichen Perspektiven beleuchtet.

Die Wertschöpfungskette wurde hinsichtlich ihrer Entwicklung untersucht und skizziert. Die dabei identifizierten Akteure wurden jeweils vorgestellt und kategorisiert. Ein wichtiger Bestandteil des Kapitels sind die Online-Geschäftsmodelle aus dem Kontext der additiven Fertigung. Anhand der Kriterien Inhalte und Produktion wurde eine Typologie erstellt, aus der sich acht mögliche Geschäftsmodelltypen ergeben. Die einzelnen Modelltypen wurden anschließend visualisiert und beschrieben.

Hohe Erwartungen an die Technologie werden durch eine Reihe technischer Charakteristika motiviert. Die spezifischen Vor- und Nachteile wurden mithilfe einer Literaturanalyse identifiziert und gruppiert. Auf Basis des Gestaltungsspielraums von Fertigungssystemen, der sich anhand der beiden Merkmale Effizienz und Flexibilität aufspannen lässt, werden wirtschaftliche Potentiale hergeleitet und evaluiert. Festgehalten werden kann, dass additive Fertigungssysteme den Gestaltungsspielraum hinsichtlich Komplexität, Effizienzsteigerung und Variantenvielfalt erweitern. Die sich hieraus ergebenden neuen Möglichkeiten werden mithilfe von Beispielen aus der Praxis untermauert.

Bei der Betrachtung des Marktvolumens zeigt sich, dass die Nachfrage nach additiven Fertigungsanlagen und Dienstleistungen kontinuierlich zunimmt. Die Bedeutung, die der Technologie zuerkannt wird, ist auch an der Fülle der nationalen und internationalen Förderinitiativen erkennbar. Deutlich wird hierbei jedoch auch, dass vor allem die ingenieurmäßige Erforschung und Entwicklung von Verfahren und Materialien im Vordergrund stehen. Wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen stehen bisher nur bedingt im Fokus.

Mit Shapeways und Thingiverse werden zwei bekannte Unternehmen der Branche mithilfe von Fallstudien exemplarisch untersucht. Neben der Analyse des zugrunde liegenden Geschäftsmodells wird vor allem auf das Angebot bzw. den Modellkatalog eingegangen. Dieser wird jeweils mithilfe gesammelter Daten deskriptiv analysiert. Besonders interessant ist das Phänomen des Remixens auf der Plattform Thingiverse. Die dort praktizierte Wiederverwendung von Wissen ist ein vielversprechender Untersuchungsgegenstand und ermöglicht Einblicke in den Entstehungsprozess neuer Ideen. Aus diesem Grund wird das Phänomen im folgenden Kapitel detailliert untersucht.

4

Explorative Untersuchung des Remixes als Form der Innovation

„Understanding the creative process is the foundation of genuine mastery in all fields.“

Peter M. Senge

Die Wiederverwendung von bereits bestehendem Wissen ist ein unverzichtbarer Bestandteil bei der Generierung neuer Ideen. Im kreativen bzw. gestalterischen Umfeld ist das Wiederverwenden von Wissen gängige Praxis und als „remixen“ bekannt. Das Remixen, ursprünglich bekannt aus der Musikwelt, wird im Zuge des Aufkommens offener Online-Plattformen heute beim Entwurf beliebiger physischer Dinge eingesetzt. Trotz der unverkennbaren Bedeutung, sowohl für die Quantität als auch für die Qualität der Innovationen auf diesen Plattformen, ist über den Prozess des Remixens und Faktoren, die diesen beeinflussen, nur wenig bekannt. Im Verlauf dieses Kapitels wird das Remixen innerhalb der zuvor beschriebenen Online-Plattform und -Community Thingiverse näher untersucht (vgl. Abschnitt 3.4.2). Diese ermöglicht ihren Nutzern das Erstellen, Veröffentlichen, Austauschen und Remixen einer Vielzahl von druckbaren digitalen 3D-Modellen und eignet sich deshalb besonders, um das Phänomen detailliert zu analysieren.

Basierend auf einem umfangreichen Datensatz werden die Remix-Aktivitäten innerhalb von Thingiverse über einen Zeitraum von sechs Jahren im Folgenden explorativ analysiert. Auf Grundlage der Ergebnisse der empirischen Untersuchung

werden abschließend mehrere Thesen und praxisbezogene Empfehlungen bzw. Implikationen formuliert. Im Vordergrund der Analyse stehen die Rolle von Remixen in Design-Communities, verschiedene Muster im Prozess des Remixens, Funktionalitäten der Plattform, die das Remixen fördern, und das Profil der remixenden Nutzerschaft.

4.1 Hintergrund und Motivation

Ursprung und Entstehung von Innovationen gehören seit Jahrzehnten zu den zentralen Thematiken der Managementforschung (Rosenberg, 1982; von Hippel, 1988; Van de Ven, 1999; Hargadon, 2003; Simonton, 2004; Usher, 2011). Eines der Hauptziele dieser Forschung besteht darin, ein besseres Verständnis vom Innovationsprozess und involvierten Einflussfaktoren zu erlangen. Hierdurch soll die Problemlösung und Ideenfindung in Organisationen verbessert werden, in der Hoffnung, dass dies letztendlich zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen führt. Ein Forschungsthema, das in diesem Zusammenhang bereits die Aufmerksamkeit von Wissenschaftlern und Praktikern erregt hat, ist die Rolle von bestehendem Wissen bei der Generierung von neuen Innovationen. Die traditionelle Auffassung von Innovation ist häufig mit einem sogenannten „Aha-Erlebnis!“ verknüpft (Berkun, 2010; Birkinshaw et al., 2011). Gemeint ist damit eine spontane Erleuchtung bzw. Offenbarung, wie beispielsweise Issac Newtons fallender Apfel, der ihm dazu verholfen hat, das Prinzip der Gravitation zu verstehen. Im Gegensatz zu dieser naheliegenden, aber zugleich naiven, Sichtweise, existiert unter Forschern die allgemeine Auffassung, dass Innovationen nicht in Isolation entstehen, sondern, zumindest teilweise, auf die Rekombination bestehender Bausteine zurückgeführt werden können (Schumpeter, 1942; Van de Ven, 1986; Nelson und Winter, 1982; Scotchmer, 1991; Kasperek, 1994; Metcalfe, 1998; Weitzman, 1998; Murray und O’Mahony, 2007; Arthur, 2009; Uzzi et al., 2013; Salter und Alexy, 2014).

Angetrieben durch das Aufkommen diverser offener Plattformen und Communities im Internet, hat das Konzept der *Innovation durch Rekombination* in den vergangenen Jahren wieder vermehrt Zuspruch und Aufmerksamkeit erhalten (Lessig, 2008; Khatib et al., 2011; Tuite und Smith, 2012; Cheliotis et al., 2014; Sapsed und Tschang, 2014; Yew und Monroy-Hernández, 2014; Oehlberg et al., 2015; Dasgupta et al., 2016; Stanko, 2016; Kyriakou et al., 2017; Özkil, 2017). Online-Plattformen,

auf denen Inhalte und Daten unter offenen Lizenzen zur Verfügung gestellt werden, erleichtern es Nutzern zunehmend eine große Fülle von Ideen zu veröffentlichen und auszutauschen (von Hippel, 2005; Hill und Monroy-Hernández, 2013). So bieten diese Plattformen einen vielversprechenden Startpunkt für Innovatoren, die bestehende Ideen in neue Umgebungen und Situationen transferieren. Oftmals werden dabei bestehende Lösungsansätze auf neue Art und Weise kombiniert oder Teile entnommen, um diese in eigene Kreationen zu integrieren. Das theoretische Konzept hinter diesem Prozess wird in der Literatur als „*knowledge reuse*“ bezeichnet (Markus, 2001; Majchrzak et al., 2004). Bisher wurde die Wiederverwendung von Wissen primär im Kontext von Open-Source-Software (OSS) (Haefliger et al., 2008; Sojer und Henkel, 2010) und Crowdsourcing-Projekten (Bayus, 2013) untersucht. Die korrespondierenden Studien und Untersuchungen liefern wertvolle Einblicke in die Bedeutung der Wiederverwendung in der Praxis und Hinweise auf fördernde und hemmende Faktoren. Dennoch ist nur wenig über das Zustandekommen des Phänomens bekannt, wie beispielsweise verschiedene Formen der Wiederverwendung von Wissen oder die Existenz generalisierbarer Muster. Hinzu kommt, dass, obwohl vorausgehende Arbeiten das Design von Plattformen in Bezug auf die Generierung von Ideen bereits in Betracht gezogen haben (Leimeister et al., 2009; Tanenbaum et al., 2013), bis heute nur wenig Forschung zu Informationssystemen als Treiber der Wiederverwendung von Wissen existiert (Couger et al., 1993; Alavi und Leidner, 2001; Sambamurthy und Subramani, 2005; Mitchell und Subramani, 2010). Dies ist insbesondere deshalb erstaunlich, weil das Fehlen wissenschaftlicher Erkenntnisse in scharfem Kontrast zum offenkundigen Potential steht, das IT-Artefakte besitzen, um die Kreativität von Nutzern zu unterstützen (Markus, 2001; Huysman und Wulf, 2006; Aragon et al., 2009; Müller-Wienbergen et al., 2011).

4.1.1 Forschungsziel und -beitrag

Die vorliegende Studie untersucht die Wiederverwendung von Wissen in offenen Online-Communities. Hier wird die Wiederverwendung von Wissen häufig als *Remix* bezeichnet – ein heute weitverbreiteter Begriff, der ursprünglich aus dem Musikbereich stammt (Gerrish, 2001; Navas, 2012; Gunkel, 2016). Er beschreibt das Phänomen der Wiederverwendung und Umnutzung von Bestehendem, um etwas Neues zu schaffen. Heute bezieht er sich nicht mehr nur auf Musik, sondern wird generell bei der Wiederverwendung von Wissen, Ideen, Informationen und Dingen

von alltäglichen Dingen geworden sind. Um dem Umstand gerecht zu werden, dass diese Nutzer gleichzeitig als Produzenten und Konsumenten auftreten, werden diese als „Prosumer“ bezeichnet (Blättel-Mink und Hellmann, 2010; Ritzer et al., 2012). Im Internet hat der 3D-Druck das Aufkommen einer lebhaften „Makerbewegung“ begünstigt, die ihre Designs online teilt und so anderen zur Verfügung stellt (Anderson, 2012; Dougherty, 2012; Gershenfeld, 2012; Richardson, 2012; Buxmann und Hinz, 2013; Tanenbaum et al., 2013). Im Fall der Plattform Thingiverse veröffentlichen Nutzer ihre dreidimensionalen Modelle unter einer offenen Lizenz. Hierdurch wiederum ist es Dritten erlaubt bestehende Things wiederzuverwenden und zu neuen Things zu remixen. Im Gegenzug sind die Nutzer der Plattform beim Remixen eines Things dazu verpflichtet, ihre jeweiligen Quellen mit anzugeben (Stanko, 2016). Die hierbei am häufigsten eingesetzte und von den Betreibern der Plattform empfohlene Lizenz ist die CC-Lizenz „Creative Commons – Attribution-ShareAlike“ (Laurent, 2004; Seneviratne und Monroy-Hernández, 2010; West und Kuk, 2016). Das Prinzip der Offenlegung von Quellen in Innovationsprozessen durch den Einsatz offener Lizenzen ist in Abbildung 4.2 skizziert.

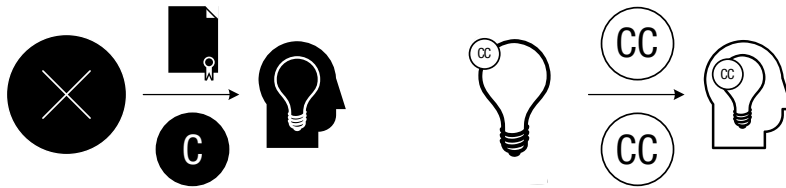


Abbildung 4.2: Prinzip der Offenlegung der Quellen in Innovationsprozessen durch den Einsatz offener Lizenzen.

Der verwendete Datensatz enthält Informationen zu den Online-Aktivitäten von Makern über einen Zeitraum von sechs Jahren und zur Erstellung von mehr als 200.000 unterschiedlichen dreidimensionalen Modellen. Da die Daten auf tatsächliche Nutzeraktivitäten zurückzuführen sind, neigen diese nicht zu Antwortverzerrungen und -tendenzen (Ganster et al., 1983; Edelman, 2012). Die zu einer Vielzahl von Remixen und Nutzern gesammelten Daten ermöglichen somit Einblicke in die kreativen Handlungen und Prozesse rund um die Plattform.

Die Studie bewegt sich in der Schnittmenge von Wirtschaftsinformatik und Innovationsmanagement und adressiert die übergreifende Forschungsfrage: *Was sind die Eigenschaften und Determinanten von Innovationen in offenen Online-Communities, die auf Remixen basieren?* Im Detail umfasst der Forschungsbeitrag vier Aspekte: Erstens wird die *Bedeutung* untersucht, die das Remixen in offenen Online-Communities

hat. Im Fokus stehen die verfügbaren Inhalte selbst, die Aktivitäten innerhalb der Plattform sowie die Wirkung bzw. Attraktivität auf Nutzer. In einem zweiten Schritt wird der *Prozess* des Remixens detailliert betrachtet. Auf diese Weise ist es möglich Muster zu erkennen, in die die gefundenen Remix-Prozesse eingeordnet werden können. Ein dritter Beitrag besteht darin, besondere Funktionalitäten der *Plattform* zu identifizieren, die spezielle Formen des Remixens ermöglichen. Außerdem deuten die empirischen Ergebnisse auf verschiedene Typen von *Personen* bzw. Nutzern hin, die jeweils unterschiedliche Vorlieben in Bezug auf das Remixen besitzen.

Mangels etablierter Theorie, die den kreativen Prozess hinter dem Remixen erklärt, wird die Generierung von Thesen fokussiert und nicht der Test bzw. die Bestätigung solcher (Gregor, 2006; Bichler et al., 2016; Müller et al., 2016). Dementsprechend verfolgt die durchgeführte Studie, in Zusammenhang mit dem vorliegenden umfangreichen Datensatz, einen quantitativen, explorativen Ansatz (Hey et al., 2009; Piegorsch, 2015; Müller et al., 2016; Peng und Matsui, 2017). Als Folgerung bzw. Resultat werden verschiedene Thesen formuliert. Diese sollen die zukünftige Forschung in diesem relativ wenig erforschten, jedoch äußerst wichtigen Themenfeld anregen und auf diese Weise zu unserem Verständnis von Kreativität im digitalen Zeitalter beitragen.

Der restliche Teil dieses Kapitels gliedert sich wie folgt. Im nachfolgenden Abschnitt werden theoretische Grundlagen mithilfe einer Literaturanalyse zur Wiederverwendung von Wissen im Allgemeinen und Remixen im Speziellen erläutert. Nach dem Darlegen der Forschungsmethodik werden die Ergebnisse der quantitativen, explorativen Analyse beleuchtet. Anschließend folgt eine kritische Diskussion der relevanten Ergebnisse, und Implikationen für Forschung und Praxis werden vorgestellt. Abschließend werden Einschränkungen der Studie dargelegt und ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.

4.2 Literaturanalyse

Das Rekombinieren bestehender Ideen zu etwas Neuem gehört seit Langem zu den Forschungsthemen der Wirtschaftswissenschaften (Rosenberg, 1982; Scotchmer, 1991; Weitzman, 1998; Hargadon, 2003; Murray und O'Mahony, 2007; Usher, 2011; Allen und Henn, 2007; Bresnahan, 2012; Dodgson et al., 2014). Das Aufkommen von Online-Plattformen zum Teilen und Austausch von Wissen, Informationen

und Daten hat das Interesse an diesem Phänomen jüngst gesteigert. Entsprechende Studien und Veröffentlichungen nutzen die Konzepte bzw. Begrifflichkeiten Wiederverwendung (engl. reuse), Rekombination (engl. recombination) und Remix (engl. remix) üblicherweise synonym. Die nachfolgenden Unterabschnitte präsentieren eine Übersicht und Analyse der Literatur, die sich generell vier verschiedenen Feldern zuordnen lässt (vgl. Tabelle 4.1):

1. *Bedeutung*: die Rolle von Rekombinationen für Innovationen.
2. *Prozess*: die Mechanismen von Rekombinationen.
3. *Plattform*: die Relevanz von IT für Rekombinationen.
4. *Person*: persönliche und umweltbedingte Faktoren von Rekombinationen.

4.2.1 Bedeutung: die Rolle von Rekombinationen für Innovationen

Die „zentrale Bedeutung des Remixens“ (Benkler, 2009, S. 337) als fundamentaler Baustein von Neuem wird in der Literatur vielfach hervorgehoben und betont (Metcalfe, 1998; Olsson und Frey, 2002; Nerkar, 2003; Navarra, 2005; Murray und O’Mahony, 2007; Arthur, 2009; Cunningham, 2009; Seneviratne und Monroy-Hernández, 2010; Brynjolfsson und McAfee, 2014; Thorén et al., 2014; Strumsky und Lobo, 2015). Das Konzept lässt sich auf Schumpeter (1942) zurückführen. Dieser argumentiert, dass jede Innovation im Wesentlichen eine Kombination bestehender Faktoren ist. Zu erkennen und zu verstehen, wie solche Kombinationen zu neuen Erkenntnissen und Ideen führen, gilt seitdem als „der ‚Heilige Gral‘ der Innovationsforschung“ (Gruber et al., 2013, S. 837). Die Integration und Rekombination von Wissen wird außerdem als Kernaufgabe und essentielles Gut einer jeden Organisation beschrieben (Ciborra, 1996; Alavi und Leidner, 2001; Sambamurthy und Subramani, 2005; Huston und Sakkab, 2006; Romer, 2008). Firmeninternes Wissen sowie dessen Fluss und Wiederverwendung gelten dabei als wesentliche Schlüsselfaktoren für die Erreichung von Wettbewerbsvorteilen (Galunic und Rodan, 1998; Watson und Hewett, 2006; Murray und O’Mahony, 2007; Carnabuci und Operti, 2013). Die hierbei zugrunde liegende Annahme, dass Innovationen durch das Zusammenfügen zuvor getrennter, unabhängiger Ideen entstehen, hat sich in den vergangenen 75 Jahren nicht geändert (Leenders und Dolfsma, 2016). Auch aus diesem Grund ist die Art und Weise, in der

Tabelle 4.1: Literaturanalyse zur Wiederverwendung und Rekombination von Wissen.

Feld	Forschungsschwerpunkte	Forschungsumgebung	Referenzen	Disziplin
Bedeutung	- Theoriebildung, Definition und Modellierung von Innovation	- Volkswirtschaft	Schumpeter (1942), Nelson und Winter (1982), Galunic und Rodan (1998), Weitzman (1998), Ciborra (1996), Olsson und Frey (2002), Carnabuci und Opetri (2013), Navarra (2005), Watson und Hewett (2006), Murray und O'Mahony (2007), Arthur (2009)	- Betriebswirtschaftslehre - Volkswirtschaftslehre
	- Rekombination in Organisationen	- Organisationen		- Betriebswirtschaftslehre
Prozess	- Einschränkungen bei der Kombination von Ideen	- Unternehmen		
	- Verständnis des Prozesses der Wiederverwendung von Wissen	- (Open-Source-) Softwareentwicklung	Rothenberger et al. (1998), Fleming (2001), Katila und Ahuja (2002), Majchrzak et al. (2004), Haefliger et al. (2008), Cunningham (2009), Schoenmakers und Duysters (2010), Garud et al. (2013), Sapsed und Tschang (2014), Arts und Veugelers (2015), Kaplan und Vakili (2015), Oehberg et al. (2015), Strumsky und Lobo (2015), Mukherjee et al. (2016), Stanko (2016), Ozkil (2017)	- Betriebswirtschaftslehre - Technologie- und Innovationsmanagement
Plattform	- Analyse und Evaluation zugrunde liegender Prozesse	- Patente		
	- Untersuchung des Outputs durch Rekombination	- Wissenschaftliche Zitation - Fallstudien zu Innovationen		
Person	- Wissensmanagementsysteme	- Wissensmanagementsysteme in Organisationen	Couger et al. (1993), Alavi und Leidner (2001), Markus (2001), Hewett (2005), Huysman und Wulf (2006), Shneiderman (2007), Leinmeister et al. (2009), Mitchell und Subramani (2010), Faraj et al. (2011), Müller-Wienbergen et al. (2011), Yu und Nickerson (2011), von Krogh (2012), de Waal und Knott (2013), Thoren et al. (2014), Payton (2016), Kyriakou et al. (2017)	- Wirtschaftsinformatik - Informatik
	- Austausch und Wiederverwendung	- Online-Communities - Crowdsourcing		
Person	- Eigenschaften von Innovatoren und Erfindern	- (Open-Source-) Softwareentwicklung		
	- Rekombination in Teams	- Wissensmanagementsysteme in Organisationen	Markus (2001), Hertel et al. (2003), Baker und Nelson (2005), Lenhart und Madden (2005), Bock et al. (2006), Perretti und Negro (2007), Bayus (2013), Gruber et al. (2013), Hwang et al. (2014), Senyard et al. (2014), Sorenshein (2014), Sojer et al. (2014)	- Wirtschaftsinformatik - Betriebswirtschaftslehre
Person	- Rekombination in unterschiedlichen Umgebungen	- Unternehmen (mit beschränkten Ressourcen)		
		- Crowdsourcing		- Technologie- und Innovationsmanagement

Rekombinationen in verschiedenen Situationen und Umfeldern durchgeführt werden, ein aktuelles und dynamisches Forschungsthema (Hill und Monroy-Hernández, 2013; Salter und Alexy, 2014; Sapsed und Tschang, 2014; Mukherjee et al., 2016; Stanko, 2016; Kyriakou et al., 2017).

Einer der Kontexte, in dem die Wiederverwendung von Wissen untersucht wird, ist der akademische Forschungsoutput. Mukherjee et al. (2016) analysieren beispielsweise 17,9 Millionen wissenschaftliche Veröffentlichungen des „Web of Science“ in Bezug auf die Kombination und Wiederverwendung von Referenzen. Die Ergebnisse zeigen, dass die führenden 5 % der untersuchten Publikationen eine Kombination aus gebräuchlichen und wenigen, äußerst unkonventionellen Referenzen besitzen.

In jüngster Vergangenheit sind verstärkt offene Online-Plattformen wie Wikipedia, YouTube und GitHub in den Fokus der Forschung geraten (Cheliotis und Yew, 2009; Di Gangi und Wasko, 2009; Ransbotham und Kane, 2011; Dabbish et al., 2012; Susarla et al., 2012; Benkler et al., 2015; Benlian et al., 2015; Spagnoletti et al., 2015). Diese Plattformen begünstigen das Teilen und den Austausch von Wissen großer Nutzergruppen (Bayus, 2013; Blohm et al., 2013) und werden deshalb als wichtige Hilfsmittel der Rekombination angesehen (Schoenmakers und Duysters, 2010; Yu und Nickerson, 2011; Hwang et al., 2014). Des Weiteren propagieren und unterstützen viele Plattformen explizit den Austausch und die Rekombination bestehender Inhalte. Nutzer werden hier ermutigt ihre Beiträge und Inhalte, oftmals unter offenen Lizenzen, frei zur Verfügung zu stellen (von Hippel und von Krogh, 2003, 2006; Cheliotis et al., 2007; von Hippel et al., 2011; West und Kuk, 2016). Obwohl die Bedeutung von Rekombinationen häufig erwähnt wird, insbesondere in Zusammenhang mit offenen Online-Communities, ist wenig über das Ausmaß bekannt, in dem Remixe zur allgemeinen Aktivität auf einer Plattform beitragen.

4.2.2 Prozess: die Mechanismen von Rekombinationen

Ein Innovationsprozess beinhaltet die Phasen Erfindung, Entwicklung und Implementierung, wobei inhärente Ereignisse, Vorgänge und Aktionen nicht zwingend geordnet ablaufen müssen. Die Phase der Erfindung bezeichnet in diesem Zusammenhang das Aufkommen einer Idee, deren grundlegender Ablauf die Rekombination beinhaltet (Garud et al., 2013). Nach Majchrzak et al. (2004) besteht ein „Wiederverwendungs-Innovationsprozess“ aus den folgenden drei Hauptaktivitäten: (1) Neukonzeptualisierung des Problems sowie Entscheidung für die Suche nach wiederverwendbaren

Ideen, (2) Evaluation potentieller Ideen und (3) Implementation der ausgewählten Idee.

Der Prozess, in dem Personen bestehendes Wissen zu etwas Neuem kombinieren, wurde in verschiedenen Umgebungen untersucht. Patentzitationen sind dabei das mit Abstand prominenteste Beispiel. Ähnlich wie wissenschaftliche Publikationen zitieren sich auch Patente gegenseitig. Eine Analyse dieser Zitationen kann verwendet werden, um den Kontext einer patentierten Erfindung besser zu verstehen (Albert et al., 1991; Almeida, 1996). Analysen auf Basis von Patentzitationen unterstützen die Hypothese, dass eine Erfindung ein Prozess der Rekombination ist (Scotchmer, 1991; Fleming, 2001; Katila und Ahuja, 2002; Strumsky et al., 2012; Arts und Veugelers, 2015; Guan und Liu, 2015; Strumsky und Lobo, 2015). Strumsky und Lobo (2015), zum Beispiel, analysieren amerikanische Patentdaten und Klassifikationscodes. Die quantitative Studie der beiden Autoren zeigt, dass Erfindungen im seltensten Falle von Grund auf neu entstehen, sondern in aller Regel eine Kombination bestehender Komponenten sind. Bahnbrechende oder radikale Innovationen werden durch die Kombination von entferntem, ungleichem Wissen ermöglicht (Kaplan und Vakili, 2015; Nakamura et al., 2015). Schoenmakers und Duysters (2010) untersuchen 157 Patente aus einer Sammlung von insgesamt 300.000 und stellen fest, dass, entgegen der herkömmlichen Meinung, bahnbrechende Innovationen häufiger aus bestehenden Komponenten zusammengesetzt werden als konventionelle. Die Zitationen in Patenten zeigen außerdem, dass kleine Innovatoren erfolgreich sind, wenn sie es schaffen, Wissen aus einem Fachgebiet intensiv zu rekombinieren (Corradini et al., 2016). Obwohl Patentzitationen hilfreich sind, vielerlei Forschungsfragen zu adressieren, bringen diese, ebenso wie wissenschaftliche Zitationen, verschiedene Nachteile mit sich (Simkin und Roychowdhury, 2006). Insbesondere beziehen sich Patente nicht auf die tatsächliche Inspiration einer Erfindung, sondern auf deren allgemeinen Kontext (Karki, 1997; Nelson, 2009). Darüber hinaus sind die Zitationen in Patenten auf patentfähige Inhalte beschränkt.

Ein anderer Forschungszweig hat sich mit dem Wiederverwendungsprozess von Wissen im Kontext von Softwareentwicklung auseinandergesetzt. Insbesondere bei Open-Source-Projekten ist der Austausch sowie das Kombinieren und Wiederverwenden von Quellcode ein anerkannter und weitverbreiteter Entwicklungsansatz (Raymond, 1999; Lakhani und von Hippel, 2003; Laurent, 2004; Haefliger et al., 2008; West und O'Mahony, 2008; Dabbish et al., 2012). Haefliger et al. (2008) führen

eine Fallstudie durch, die auf Daten aus sechs verschiedenen Open-Source-Projekten aufbaut. Interviews mit Entwicklern und eine Analyse des eigentlichen Codes zeigen, dass die Wiederverwendung von Quellcode dabei hilft die Produktivität und Qualität der Softwareentwicklung zu steigern (Rothenberger et al., 1998; Vitharana et al., 2010). In den vergangenen Jahren sind verschiedene Plattformen rund um den Wissensaustausch von Softwareentwicklern entstanden. Zu den bekanntesten Vertretern gehören die kollaborative Versionsverwaltung GitHub (Dabbish et al., 2012; Vasilescu et al., 2013) und die Frage- und Antwortplattform Stack Overflow (Anderson et al., 2012; Barua et al., 2014). Trotz der schnellen Verbreitung dieser und zahlreicher weiterer Online-Plattformen und -Communities existieren äußerst wenige Studien, die sich mit dem zugrunde liegenden Wiederverwendungsprozess auseinandersetzen (Garud et al., 2013).

Die Erforschung von Strukturen in Innovationsnetzwerken ist ein weiterer vielversprechender Ansatz, um den Prozess der Wiederverwendung von Wissen zu untersuchen (Kyriakou et al., 2012; Papadimitriou et al., 2015; Kyriakou et al., 2017; Özkil, 2017). Cheliotis und Yew (2009) beschreiben Muster in denen Musiker Songs und Ausschnitte aus Tonaufnahmen rekombinieren. Oehlberg et al. (2015) haben kürzlich Designs in Online-Maker-Communities untersucht, um elementare Remix-Muster offenzulegen. Abgesehen von diesen initialen Erkenntnissen, herrscht ein Bedarf an weiterführenden Untersuchungen, um ein tieferes Verständnis von Innovationsnetzwerken zu erlangen und auf diese Weise weitere Einblicke in den Prozess der Rekombination zu erhalten (Seshadri und Shapira, 2003; Yew und Monroy-Hernández, 2014; Cheliotis und Yew, 2009; Kyriakou und Nickerson, 2013; Fordyce et al., 2016; Leenders und Dolfsma, 2016).

4.2.3 Plattform: die Relevanz von IT für Rekombinationen

Nicht zuletzt die steigende Komplexität der Tätigkeiten im Berufsalltag hat zu einer höheren Wertschätzung von Wissen und Wissensverarbeitung geführt (Huysman und Wulf, 2006). Werkzeuge und Hilfsmittel, die die Generierung und Nutzung von Ideen fördern und unterstützen, sind deshalb essentiell für die Entstehung von Innovationen (Romer, 2008; Leimeister et al., 2009). Informationstechnologie hat das Potential, im Wissensmanagement eine zentrale Rolle einzunehmen, da die Technologie prädestiniert ist, Wissen und Ideen zu speichern, zu verwalten, zu teilen und wiederzuverwenden (Alavi und Leidner, 2001; Markus, 2001; Shneiderman, 2007; von

Krogh, 2012). Um die Kreativität zu fördern, müssen Informationssysteme Nutzer dabei unterstützen ihr persönliches Wissen zu erweitern (Müller-Wienbergen et al., 2011; Althuizen und Reichel, 2016). Hewett (2005) setzt sich mit dem Design eines virtuellen Arbeitsplatzes auseinander und beschreibt diesen auf Basis psychologischer Konzepte als kreative Umgebung zur Problemlösung. Seine Ergebnisse legen nahe, dass Informationssysteme die Möglichkeit bieten sollten, durch den Nutzer erweiterbare, digitale Aufbewahrungsorte für wiederverwendbare Objekte anzulegen. Die dort gesammelten und gespeicherten Objekte können dann durch den Nutzer zu neuen Lösungen kombiniert werden. Online-Communities machen sich diese Idee extensiv zunutze und erlauben ihren Nutzern Inhalte zu erstellen, zu teilen und zu remixen (Lee et al., 2010; Hill und Monroy-Hernández, 2013; Leonardi, 2014; Yew und Monroy-Hernández, 2014; Payton, 2016). Yu und Nickerson (2011) evaluieren einen auf Menschen basierenden genetischen Algorithmus experimentell. Hierbei handelt es sich um ein System zur Generierung von Ideen, in dem die Probanden die Lösungsansätze und -vorschläge anderer Versuchsteilnehmer kombinieren müssen. Die Ergebnisse des Experiments zeigen, dass die Vorschläge in späteren Iterationen signifikant höhere Werte in Bezug auf Originalität und Praktikabilität erzielen. Infolgedessen ist die Möglichkeit Wissen wiederzuverwenden einer der Eckpfeiler von Ideen, die in Kooperation entstehen (Yu und Nickerson, 2011; Bayus, 2013; Hwang et al., 2014). Der freie Fluss und Austausch des Wissens ist dabei eine wesentliche Charakteristik dieser Communities (West und O'Mahony, 2008; Faraj et al., 2011).

Trotz der breiten, allgemeinen Übereinkunft unter Wissenschaftlern und Forschern in Bezug auf die Bedeutung der kreativen Rekombination von Wissen und die Rolle, die IT als Treiber einnehmen kann, wird das Thema in der Wirtschaftsinformatik weitestgehend vernachlässigt (Couger et al., 1993; Seidel et al., 2010). Tatsächlich existieren lediglich einige wenige Publikationen, die sich mit der Frage auseinandersetzen, wie IT-basierte Plattformen den Austausch von Wissen antreiben und unterstützen können (Markus, 2001; Huysman und Wulf, 2006). Noch weniger ist darüber bekannt, wie IT Methoden und Praktiken der Wiederverwendung mitgestalten kann (Mitchell und Subramani, 2010).

4.2.4 Person: persönliche und umweltbedingte Faktoren von Rekombinationen

Persönliche und umweltbedingte Faktoren beeinflussen nicht nur ob, sondern auch wie die Rekombination von bestehendem Wissen vonstattengeht (Markus, 2001). So haben zum Beispiel jüngere Personen das Remixen bereits verinnerlicht, wenn es um die Erstellung neuer Inhalte geht (Lenhart und Madden, 2005; Payton, 2016). Darüber hinaus demonstrieren Perretti und Negro (2007), dass Hollywood-Teams innovativere Kombinationen erzeugen, wenn sich das jeweilige Team aus Neulingen und erfahrenen Filmemachern zusammensetzt. Im Allgemeinen bauen Angestellte ihre Fähigkeit der kreativen Wiederverwendung aus, wenn ihnen Ressourcen und Verantwortlichkeiten übertragen werden (Sonenshein, 2014). Im Prinzip bedeutet das, dass die möglichen Lösungsvorschläge bzw. der Lösungsraum der Angestellten mit den ihnen zur Verfügung stehenden Ansätzen wächst. Gruber et al. (2013) untersuchen die Beziehung zwischen Erfindern und deren Erfindungen. Als Basis dienen den Autoren mehr als 30.500 Patente, die beim Europäischen Patentamt eingereicht wurden und Daten aus einer Umfrage unter den Erfindern. Im Einzelnen zeigen die Ergebnisse, dass Individuen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund breitere Patente, in Bezug auf die Technologiedomäne, produzieren als beispielsweise Techniker oder Ingenieure.

Die Nutzung des Remixens von Entrepreneuren in ressourcenknappen Umgebungen ist als „Bricolage“ bekannt und stellt insbesondere für Unternehmen mit eingeschränkten Mitteln eine vielversprechende Möglichkeit dar, Innovationen hervorzubringen (Ciborra, 2002; Baker und Nelson, 2005; Duymedjian und Ruling, 2010; de Waal und Knott, 2013). Senyard et al. (2014) finden Belege für diese These mittels einer Längsschnittuntersuchung unter 658 australischen Existenzgründern. Die Autoren zeigen im Rahmen ihrer Studie, dass die Rekombination verfügbarer Ressourcen einen stark positiven Effekt auf die Originalität der Gründer hat. Die dabei zugrunde liegenden Motivationsprozesse sind denen in anderen sozialen Communities und Teams ähnlich (Hertel et al., 2003; Sojer und Henkel, 2010; von Krogh et al., 2012). Sie beinhalten ideelle Beweggründe, wie beispielsweise die Auffassung, dass Software frei verfügbare und anpassbar sein sollte, aber auch karriereorientierte Anreize, wie zum Beispiel die Signalisierung der eigenen Fähigkeiten an potentielle Arbeitgeber (Hars und Ou, 2002; Hertel et al., 2003). Grundsätzlich lassen sich die jeweiligen

Beweggründe nach der Art der Motivation in intrinsische (Ideologie) und extrinsische (Karriere) untergliedern (Leimeister et al., 2009; von Krogh et al., 2012). Programmierer legen ein generelles Verständnis von ethisch vertretbarer Wiederverwendung und Lizenzbedingungen an den Tag. Im Falle einer unrechtmäßigen Wiederverwendung mangelt es den Entwicklern entweder an ausreichenden Lizenzinformationen oder sie werden von externen Faktoren dazu gezwungen (Sojer et al., 2014). Kollaborative Normen, die regulierend unterstützen, haben nachweislich einen positiven Effekt auf das Verhalten von Individuen bei der Suche nach Lösungsansätzen (Bock et al., 2006).

Weil Nutzer sich in so vielen unterschiedlichen Facetten unterscheiden – zum Beispiel in Bezug auf Fähigkeiten und Interessen – ist es wichtig die Charakteristiken remixender Plattformnutzer zu verstehen. Auf diese Weise kann den Bedürfnissen der Nutzerschaft besser entsprochen werden (Müller-Wienbergen et al., 2011; Stanko, 2016).

4.3 Methodik

Die durchgeführte Literaturanalyse legt nahe, dass mehr empirische Forschung notwendig ist, um offene Fragen bezüglich der Bedeutung von Remixen für Innovationen, des Remix-Prozesses, der Rolle IT-basierter Plattformen und des Profils remixender Individuen zu beantworten. Zu diesem Zweck wird das Remixen auf Basis realer Daten, die auf der Plattform Thingiverse gesammelt wurden, untersucht. Aufgrund der Größe und Diversität des Datensatzes ist ein strukturiertes, analytisches Vorgehen nötig (Müller et al., 2016). Dieses wird in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich erläutert.

Zur Aufbereitung, Verarbeitung und Analyse der Daten wird vornehmlich auf die freie statistische Programmiersprache R zurückgegriffen (Ihaka und Gentleman, 1996; R Core Team, 2016; Wickham und Grolemund, 2016). Außerdem kommen verschiedene Erweiterungen in Form von Paketen zum Einsatz. Hierzu gehören Funktionalitäten zur Manipulation von Daten (Wickham und Francois, 2016), zur Netzwerkanalyse (Csárdi und Nepusz, 2006) und zur Visualisierung der Daten und Ergebnisse (Gu et al., 2014; Wickham, 2009). Zusätzlich wird die Open-Source-Software „Gephi“ eingesetzt, um Visualisierungen der Remix-Beziehungen in Form von „Stammbäumen“ zu erzeugen (Bastian et al., 2009).

4.3.1 Datenerhebung und -filterung

Thingiverse unterstützt auf seiner Plattform vornehmlich zwei Dateiformate für 3D-Designs: STL und OpenSCAD. Das Format STL zeichnet sich dadurch aus, dass es eine direkte Repräsentation der Geometrie des Objekts darstellt. Hierzu enthält es Informationen zur gesamten Oberfläche des Objekts in Form eines Polygonnetzes im dreidimensionalen Raum (vgl. Abschnitt 2.4.1). OpenSCAD-Dateien beschreiben Modelle mithilfe einer textbasierten Modellierungssprache und müssen dementsprechend kompiliert werden, um das eigentliche dreidimensionale Objekt zu erzeugen (vgl. Abschnitt 2.4.4). Dieser programmatische Ansatz erlaubt die Parametrisierung von Designs, was wiederum eine einfache Anpassung und Individualisierung durch andere Nutzer ermöglicht.

Zusätzlich zu den eigentlichen Bauplänen bzw. Modelldaten speichert Thingiverse diverse Metadaten von Things, wie beispielsweise deren Namen, eine eindeutige ID, den Designer, das Datum der Veröffentlichung, eine Liste von Tags oder Kommentare von Nutzern. Außerdem gehören zu einem Thing dynamische Daten, wie die Anzahl an Aufrufen, Downloads, Likes und bestätigten Makes. Zudem sind auch Remix-Beziehungen zwischen den Designs einsehbar. Auf der Plattform stehen diese in Form von Listen zur Verfügung, die für jedes Modell die direkten „Vor- und Nachfahren“ enthalten. Im weiteren Verlauf werden diese auch als „Eltern“ und „Kinder“ bezeichnet (vgl. Abschnitt 3.4.2.3).

Wie bereits im vorherigen Kapitel kurz beschrieben, wurde die Sammlung der Daten mithilfe eines eigens in C# implementierten Webcrawlers durchgeführt. Im Rahmen der Datenerhebung wurden Informationen zu insgesamt 216.541 Things extrahiert, die zwischen dem Start der Online-Plattform im November 2008 und Oktober 2014 veröffentlicht wurden. Von diesem initialen Set werden 378 ausgeschlossen, da diese die Nutzungsbedingungen der Plattform verletzen (z. B. Waffen) und weitere 13 Things, die innerhalb der Plattform aufgrund von Urheberrechtsverletzungen gekennzeichnet sind. Weitere 3.054 Things wurden aus dem Datensatz entfernt, da diese nicht unter offenen Lizenzen veröffentlicht wurden und aus diesem Grund nicht remixed werden können. Zu beachten ist hierbei, dass seit einer Anpassung der Nutzungsbedingungen im Februar 2012 generell nur noch offene Lizenzen zur Verfügung stehen. Der finale Datensatz besteht aus insgesamt 213.096 Things, von denen 116.659 Remixe sind.

4.3.2 Vorverarbeitung und Analyse

Im Anschluss an die Filterung der Daten, wurden diese in einem zweiten Schritt vorverarbeitet. Hierzu zählt insbesondere die Rekonstruktion von Remix-Beziehungen höherer Ordnung durch wiederholtes Verbinden der zunächst verfügbaren direkten *Eltern-Kind-Beziehungen*. Während einige isolierte Designs weder Vor- noch Nachfahren besitzen, sind andere Things Teil größerer Stammbäume, die sich über mehrere „Generationen“ erstrecken. Im letzteren Fall konnte mithilfe der plattformweiten Remix-Beziehungen die Generation eines jeden Designs bestimmt werden. Die *Generation* bezeichnet die Position eines Things in einem Remix-Pfad, also mehreren aufeinander aufbauenden Things, die zueinander in einer Remix-Beziehung stehen. Allen Things ohne direkte Vorfahren wird die Generation 0 zugewiesen. Hierbei handelt es sich um ursprüngliche, originäre Designs. Darauf folgende Remixe erhalten eine Generation, die jeweils um 1 erhöht wird. Remixe können auch aus mehreren Elternteilen rekombiniert werden. In diesem Fall erhält der Remix die höchstmögliche Generation, die der Länge des längsten Pfades zu einem Vorfahren mit der Generation 0 entspricht. Das vorgestellte Konzept der Beziehungen und Generationen, das weiterführende Analysen ermöglicht, ist in Abbildung 4.3 grafisch veranschaulicht.

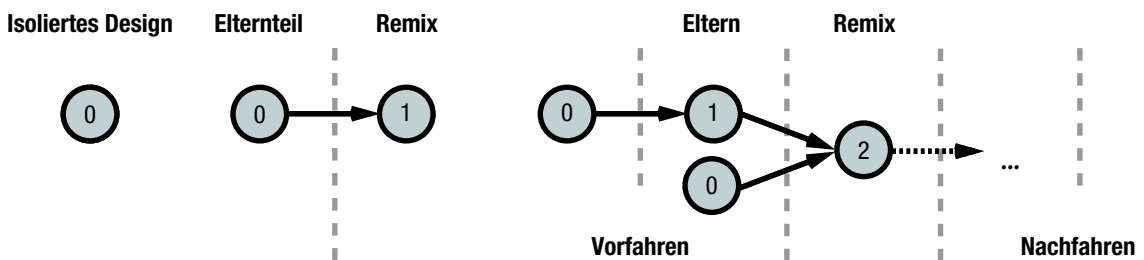


Abbildung 4.3: Konzept der Remix-Beziehungen und Generationen.

Die Bestimmung und Annotation der genealogischen Informationen ermöglichen eine nachgelagerte Analyse der Remix-Tiefe und sich wiederholender Remix-Ketten. In den folgenden Abschnitten wird zunächst die Bedeutung des Remix-Konzeptes innerhalb der Plattform auf Basis von Thing-Charakteristiken und Remix-Aktivitäten anhand deskriptiver Statistiken herausgearbeitet. Darauf aufbauend werden Methoden der Netzwerkanalyse und -visualisierung genutzt, um den Prozess des Remixens detailliert zu untersuchen. Unter anderem werden Stammbäume verschiedener Kategorien von Thingiverse erzeugt. Damit diese sowohl ästhetischen Kriterien, wie einer

gleichmäßigen Verteilung der Knoten bei gleichzeitiger minimaler Überschneidung der Kanten, gerecht werden als auch eine interaktive Analyse erlauben, wird auf ein kräftebasiertes Verfahren bzw. Layout zurückgegriffen (Di Battista et al., 1999; Jacomy et al., 2014). Um Things darzustellen, die durch das Remixen in eine andere Kategorie überführt werden, wird die entsprechende Übergangsmatrix als kreisförmiges Netzwerkdiagramm (engl. chord diagram) visualisiert (Holten, 2006). Die qualitativen Visualisierungen werden genutzt, um daraus verschiedenartige Remix-Muster abzuleiten und zu beschreiben. Darauf aufbauend werden die identifizierten Muster mathematisch formalisiert und über die Plattform hinweg quantifiziert. Zur objektiven Kategorisierung der Komplexität von Remixen wird eine Kodierung vorgestellt und umgesetzt. Außerdem wird auf Regressionsanalysen zurückgegriffen, um die Remix-Wahrscheinlichkeit (logistische Regression) und die Dynamik des Nutzerwachstums (lineare Regression) zu untersuchen.

4.4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die empirischen Ergebnisse der Untersuchung präsentiert. Diese sind analog zu den in der Literaturanalyse vorgestellten vier Forschungsfeldern untergliedert: die praktische Bedeutung von Remixen (4.4.1), die Struktur des Remix-Prozesses (4.4.2), die Funktionalitäten einer IT-Plattform, die das Remixen begünstigen (4.4.3) und die Charakteristiken von remixenden Individuen (4.4.4).

4.4.1 Bedeutung: Remixe dreidimensionaler Designs auf Thingiverse

Tabelle 4.2 gibt einen Überblick über die deskriptiven Statistiken der Remixe im Datensatz. Es zeigt sich, dass sich Remixe in Bezug auf die Anzahl ihrer Tags (0–129), ihre Abstammung (1–10 Elternteile) und die Länge des Remix-Pfades (1–13 Evolutionsstufen) stark voneinander unterscheiden. Gleiches gilt auch für die individuellen, Thing-bezogenen Metriken, wie die Anzahl der Aufrufe, Downloads oder Makes. Bei diesen ist zudem ein erheblicher Unterschied in der Größenordnung von „Aufmerksamkeits-Metriken“ (Aufrufe, Downloads) und „Beteiligungs-Metriken“ (Kommentare, Makes) feststellbar.

Als nächstes wird der Umfang bzw. die Bedeutung von Remix-Aktivitäten untersucht. Hierzu werden Remixe, Eltern und isolierte Designs miteinander verglichen. Abbildung 4.4 verdeutlicht die Bedeutung der Remixe für die Community auf Basis

dreier unterschiedlicher Metriken: (i) der Anzahl an Things, (ii) der Summe der Downloads und (iii) der Gesamtzahl der Makes.

Tabelle 4.2: Charakteristiken der bei Thingiverse geführten Remixe ($N = 116.659$).

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Aufrufe	621,29	3.188,86	0	132	392.333
Downloads	130,77	754,67	0	31	87.527
Likes	4,74	33,18	0	0	2512
Kommentare	0,42	3,28	0	0	364
Makes	0,19	2,19	0	0	268
Tags	1,52	1,08	0	1	129
Eltern	1,04	0,32	1	1	10
Generation	1,81	1,14	1	1	13

Die *Anzahl an Things* beschreibt die absolute Zahl der auf der Plattform angebotenen Designs und spiegelt so die Bedeutung im Sinne von verfügbaren Inhalten wider. Die 86.728 isolierten Designs, ohne jegliche Remix-Beziehung, machen 40,7% aller verfügbaren Things aus, wohingegen sich Remixe auf 54,7% summieren. Die verbleibenden 4,6% entfallen auf Eltern ohne eigene Vorfahren, die dementsprechend der Generation 0 zugeordnet sind. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass die Zahl der Eltern in einer Generation stets geringer ist, als die Zahl der darauf aufbauenden Remixe in der Folgegeneration.

Sowohl registrierte Nutzer als auch unregistrierte Besucher der Online-Plattform haben die Möglichkeit Things herunterzuladen. Die *Gesamtzahl der Downloads* kann deshalb als Gradmesser für die allgemeine Aktivität auf der Plattform herangezogen werden. Remixe sind für 29,8% der Downloads verantwortlich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Remixe oftmals erst später im zeitlichen Verlauf entstehen und häufig hochgradig angepasst sind. Nichtsdestoweniger zeigt der Anteil von annähernd 30%, dass Remixe sowohl in Bezug auf das Angebot als auch in Bezug auf die Nachfrage eine wesentliche Rolle spielen und damit die Aktivität auf der Plattform positiv beeinflussen.

Die *Anzahl der gemeldeten Makes* wiederum beschreibt – in Form gefertigter dreidimensionaler Objekte – einen Effekt über die Plattform hinaus. Auf Thingiverse sind Remixe für insgesamt 29,6% aller tatsächlich bestätigten Makes verantwortlich.

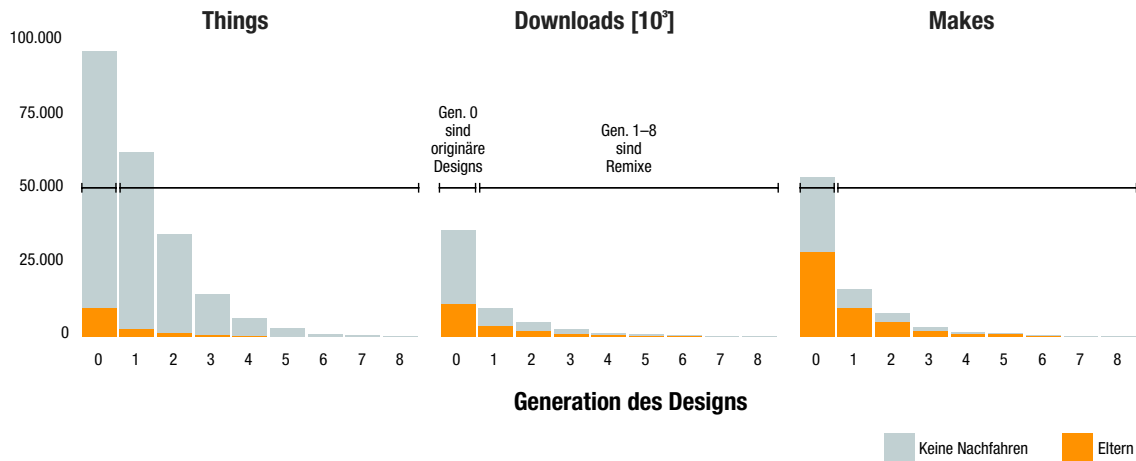


Abbildung 4.4: Bedeutung von Remixen: (i) Anzahl, (ii) Downloads und (iii) Makes je Generation (Things mit einer Generation > 8 wurden vernachlässigt).

4.4.2 Prozess: verschiedene Muster des Remixens

Ein Remix auf Thingiverse ist ein dreidimensionales Modell, das Referenzen auf alle anderen Modelle enthält, auf denen es basiert. Im einfachsten Fall wird ein zuvor isoliertes Thing in ein neues Thing remixed. Diese einfache Form der Entwicklung bzw. des Remixens kann als lineare Evolution beschrieben werden. Es ist allerdings auch nicht unüblich, dass sich dieser Prozess wiederholt: Ein Remix wird erneut remixed und es entstehen regelrechte Remix-Ketten. Im Datensatz, der sich über alle verfügbaren Kategorien der Plattform erstreckt, finden sich 113.439 Remixe, die Teil eines linearen Evolutionspfades sind. Weiterführende Betrachtungen und Analysen legen allerdings nahe, dass es sich hierbei nur um eines von mehreren unterschiedlichen Mustern handelt.

Die Abbildungen 4.5 und 4.6 zeigen die kategorieinternen Things und Remix-Beziehungen der beiden Kategorien „3D Printing“ und „Fashion“ als Netzwerk bzw. Stammbaum. Ein Knoten des Graphen repräsentiert jeweils ein Thing, eine gerichtete Kante eine Remix-Beziehung. Zusätzlich ist die Anzahl der Eltern eines Things über die Größe des entsprechenden Knotens kodiert. Die unterschiedliche Farbgebung von Knoten und Kanten bezeichnet die Art des Things bzw. der Remix-Beziehung.

Die dargestellten Netzwerkstrukturen zeigen dementsprechend alle Things, die selbst Remix sind oder mindestens einen Remix als Kind hervorgebracht haben. Isolierte Designs wurden in der Darstellung vernachlässigt. Nicht lineare Remix-Beziehungen bzw. -Pfade sind nicht nur auf die beiden abgebildeten Kategorien beschränkt,

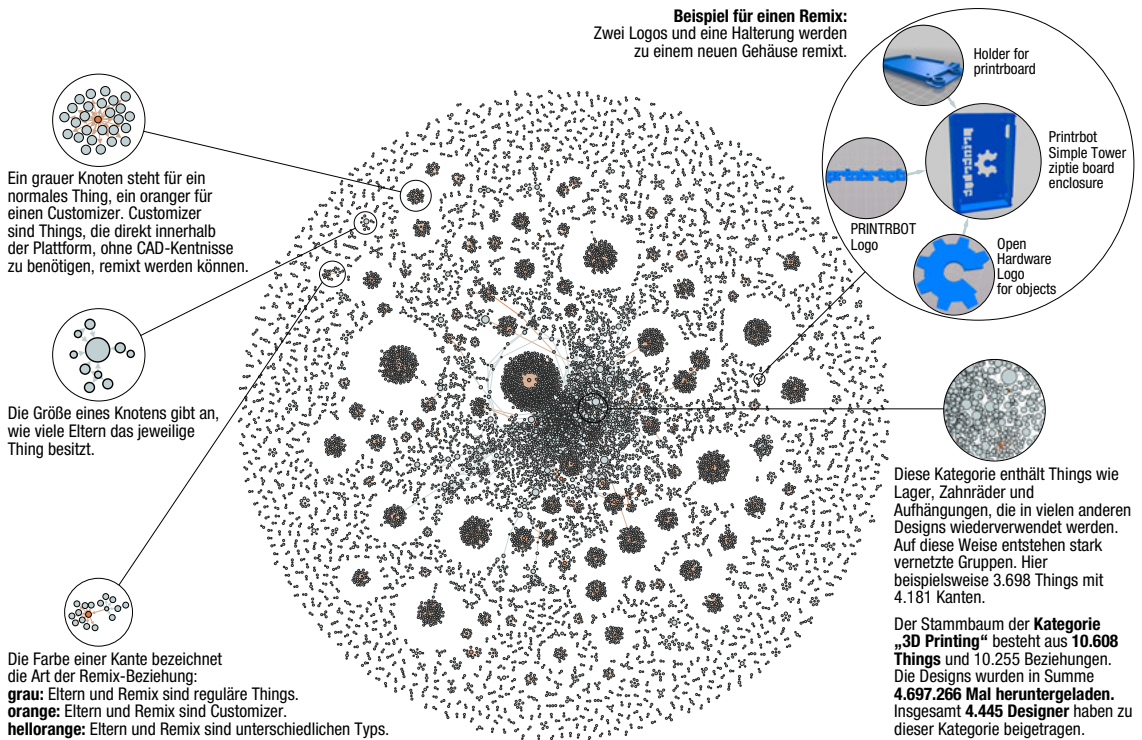


Abbildung 4.5: Stammbaum aller Things der Kategorie „3D Printing“, die in einer Remix-Beziehung stehen.

sondern können praktisch in jeder der verfügbaren Kategorien gefunden werden. Die beiden genannten wurden für die Visualisierung gezielt ausgewählt, da diese innerhalb der Plattform populär sind, eine breite Palette unterschiedlicher Things beinhalten, und vor allem auch erkennbare, strukturelle Unterschiede aufweisen. Die Abbildungen heben die Diversität und Komplexität der Remix-Beziehungen, die offensichtlich weit über eine einfache, lineare Evolution hinausgehen, hervor.

Im Rahmen der Analyse wurden acht unterschiedliche, zusammengesetzte Remix-Muster identifiziert und beschrieben. Die Muster lassen sich in zwei grundlegend verschiedene Klassen unterteilen: *konvergente Remixe*, für die Remix-Beziehungen mit mehreren Elternteilen charakteristisch sind und *divergente Remixe*, die durch Beziehungen zu mehreren Kindern gekennzeichnet sind.

4.4.2.1 Konvergente Remixe

Eine Remix-Beziehung besteht zwischen einem Kind, bzw. dem Remix selbst, und seinen Eltern, also den Things, auf denen der Remix basiert. Wird diese Familienanalogie auf Remix-Beziehungen übertragen, so kann ein konvergenter Remix als

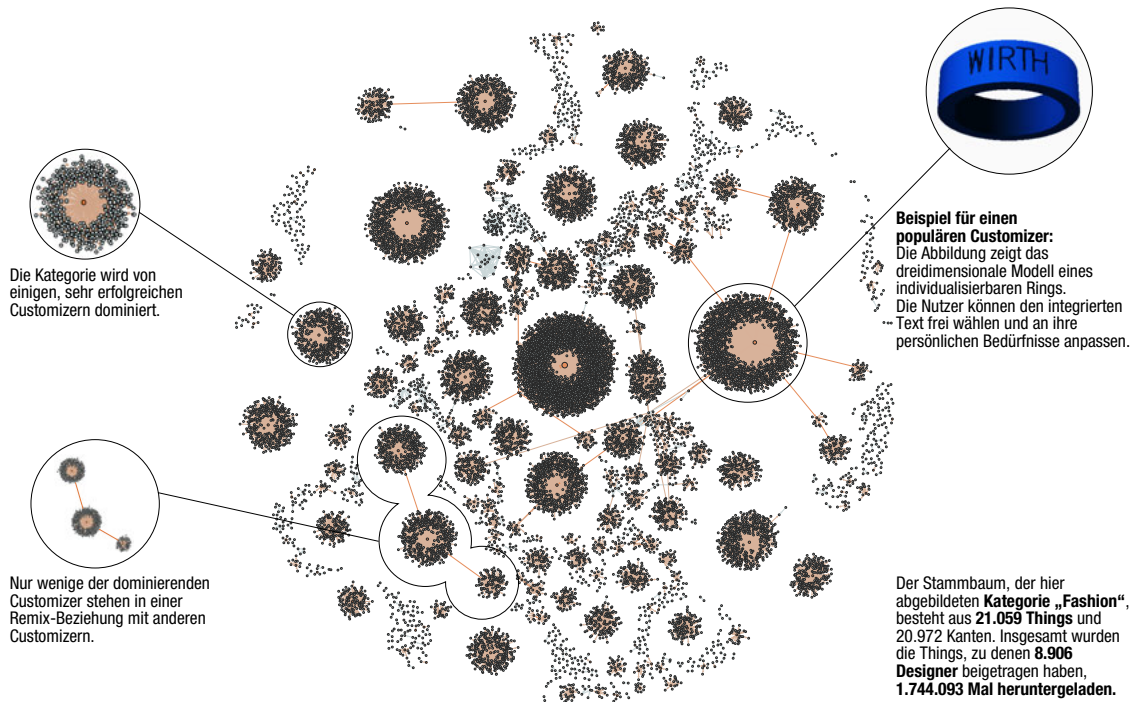


Abbildung 4.6: Stammbaum aller Things der Kategorie „Fashion“, die in einer Remix-Beziehung stehen.

Muster definiert werden, in der ein Kind von mindestens zwei Elternteilen abstammt. Konvergente Remixe werden deshalb aus der Perspektive der Kinder betrachtet.

Die simpelste Form eines konvergenten Remixes ist die Fusion zweier zuvor unabhängiger Things, die schließlich in einem neuen Remix resultiert. Zum Beispiel listet Thingiverse eigenständige Designs für die Maskottchen der beiden großen US-amerikanischen Parteien: den demokratischen Esel und den republikanischen Elefanten. Diese beiden unverwandten Things wurden zu einer sogenannten „Debattier-Münze“ verschmolzen bzw. remixt, die auf jeder Seite der Münze eines der Symboltiere zeigt. Die beiden unabhängigen Maskottchen sind neben der daraus fusionierten Münze in Abbildung 4.7 zu sehen.

Um Things durch Konvergenz zu kreieren, verschmelzen und integrieren Designer Modelle und Konzepte auf unterschiedliche Art und Weise. Um diese konvergenten Remixe formell voneinander zu unterscheiden, kann die jeweilige Beziehung des Remixes x zur Menge seiner Eltern P_x herangezogen werden. Insgesamt lassen sich so vier verschiedene Muster von konvergenten Remixen unterscheiden. Eine Übersicht dieser findet sich in Tabelle 4.3.

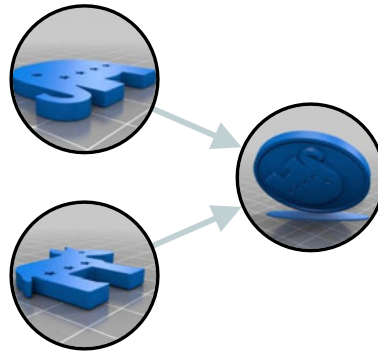


Abbildung 4.7: Fusion zweier zuvor unabhängiger Things zu einem Remix am Beispiel einer „Debattier-Münze“.

Tabelle 4.3: Konvergente Remix-Muster ($x, y \in$ Menge von Things \mathbb{T} ; P_x : Menge der Eltern von Thing x ; P_x^2 : Menge der Großeltern von Thing x).

Muster	Beschreibung	Formalisierung	Anzahl
Fusion 	Hier werden zwei unterschiedliche Things zu einem neuen Thing verschmolzen bzw. remixt. Die dabei entstehende Fusion enthält Aspekte beider zuvor unabhängiger Things.	$\{x : P_x = 2\}$	2.345
Kompilation 	Ein neues Thing kann eine Best-of-Zusammenstellung einer Vielzahl von Ideen sein, die zuvor noch keine Beziehung zueinander hatten. Hierzu wird eine große Anzahl ausgewählter Things zu einem neuen Remix zusammengestellt. Der Einfluss einzelner Elternteile ist in großen Kompilationen oftmals nur noch schwer zu erkennen.	$\{x : P_x \geq 3\}$	898
Geschwister 	In einigen Fällen kombinieren Designer die gleichen Elternteile zu neuen, unterschiedlichen Things. Diese neuen Remixe sind nicht direkt miteinander verbunden, teilen sich jedoch dieselben Vorfahren. Dieses Remix-Muster kann zu zeitgleichen Erfindungen (Lamb und Easton, 1984) führen – einer Situation, in der sehr ähnliche Things von unterschiedlichen Designern entworfen werden.	$\{x, y : P_x \cap P_y \geq 2\}$	819
Retrospektive 	Eine Retrospektive kombiniert die Ideen und Lösungsansätze verschiedener Generationen von Vorfahren. Folglich handelt sich nicht um den Remix eines einzelnen Things, sondern um einen Rückblick, der das Beste verschiedener Generationen wiederverwendet. Um als Retrospektive zu gelten, muss der entsprechende Remix auf mindestens zwei vorherigen Generationen basieren.	$\{x : P_x \cap P_x^2 \geq 1\}$	773

4.4.2.2 Divergente Remixe

Eine zweite Klasse von Remixen, die entdeckt wurden, sind die divergenten Remixe. In diesem Fall ist ein Thing die Basis für mehrere andere. Im Gegensatz zu den konvergenten Mustern steht bei divergenten Remixen die inspirierende Wirkung ein und derselben Quelle im Vordergrund. Zieht man auch hier eine Analogie zu familiären Beziehungen, so kann ein divergenter Remix als Beziehung zwischen einem Elternteil, das mindestens zwei Kinder hat, beschrieben werden. Dementsprechend werden divergente Remix-Muster aus der Perspektive des Elternteils betrachtet.

Die einfachste Form eines divergenten Remixes ist die Aufspaltung eines einzelnen Designs zu zwei Remixen. Zum Beispiel hat ein Thingiverse-Nutzer einen Flaschenöffner designt, der später von zwei anderen Designern remixt wurde. Der erste Designer hat das ursprüngliche Modell angepasst, um Material beim Drucken einzusparen. Der zweite Designer wiederum, hat die Form des Flaschenöffners dahingehend verändert, dass sich der Öffner intuitiv am Rahmen eines Fahrrads befestigen lässt. Das entsprechende Muster, nebst den beschriebenen Things, ist in Abbildung 4.8 grafisch veranschaulicht.

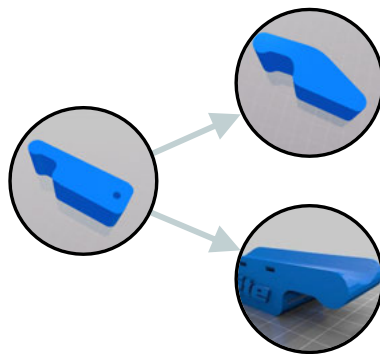

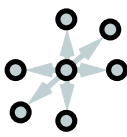
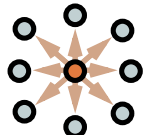
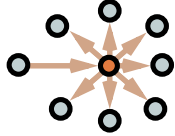


Abbildung 4.8: Aufspaltung eines Things zu mehreren verschiedenen, neuen Remixen am Beispiel eines Flaschenöffners.

Divergente Remixe werden durch Things hervorgerufen, die bei Designern unterschiedliche Assoziationen und Inspirationen auslösen. Für eine Unterscheidung und Formalisierung ist es in diesem Fall naheliegend, die Beziehung eines Things x zur Menge seiner Kinder bzw. Remixe C_x zu betrachten. Auch bei dieser Gruppe lassen sich vier Remix-Muster unterscheiden (siehe Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4: Divergente Remix-Muster ($x \in$ Menge von Things \mathbb{T} ; $c \in$ Menge der Customizer \mathbb{C} ; C_x : Menge der Kinder von Thing x ; P_c : Menge von Eltern von Customizer c).

Muster	Beschreibung	Formalisierung	Anzahl
Aufspaltung 	In diesem Muster erreicht ein Konzept oder Design einen Punkt, an dem es sich in zwei neue Things aufspaltet. Das ursprüngliche Design weckt unterschiedliche Assoziationen und Bedürfnisse, die die Basis für Remixe sind.	$\{x : C_x = 2\}$	2.241
Bouquet 	Einige Things erweisen sich als besonders geeignet, um remixt zu werden. Dementsprechend werden solche Designs auch verhältnismäßig oft wiederverwendet. Auf diese Weise entsteht ein großes Bouquet vielfältiger Kinder, die alle auf dem gleichen Elternteil aufbauen.	$\{x : C_x \geq 3\}$	3.159
Customizer 	Ein individualisierbares Thing kann durch die Nutzer auf einfache Art und Weise an deren persönliche Bedürfnisse angepasst werden. Die Customizer auf Thingiverse lassen sich im Rahmen einiger vorgegebener Parameter verändern und sind deshalb dazu prädestiniert, remixt zu werden. Dieser Umstand führt dazu, dass um Customizer eine relativ große Anzahl an individualisierten Derivaten entsteht.	$\{c : P_c = 0\}$	1.545
Vorlage 	In diesem Muster wird ein reguläres Thing zu einem Customizer remixt. In einigen Fällen ist ein Designer der Meinung, dass ein bestimmtes Design für die Nutzerbasis von größerem Nutzen wäre, wenn sich dieses einfach anpassen ließe. Eine Vorlage ist gewissermaßen das Sprungbrett, das die ursprüngliche Idee und ihre zahlreichen Nachfahren verbindet.	$\{c : P_c \geq 1\}$	727

4.4.2.3 Kategorieübergänge

Jedes Thing des Modellkatalogs von Thingiverse ist einer Kategorie zugeordnet (vgl. Abschnitt 3.4.2.3). Nutzer können durch diese Kategorien stöbern und Things finden. Remix-Beziehungen treten nicht nur innerhalb ein und derselben Kategorie, sondern auch über mehrere Kategorien hinweg auf. Der Großteil der Remixe bleibt in derselben Kategorie wie seine Eltern. Allerdings transferieren rund 8% der Remixe Wissen von einer Domäne in eine andere. Ein Beispiel für einen solchen Remix über Kategoriegrenzen hinweg ist der „Cable Organizer“, der in der Kategorie rund um Haushaltsutensilien zu finden ist. Dieses Thing zum Organisieren und

Festklemmen von Kabeln basiert wiederum auf „Mr. Jaws“, einem stilisierten Hai aus der Kategorie „Models“. Der Organizer nutzt die Zähne des Haifisches, um die Kabel am vorgesehenen Platz zu halten. Die beiden beschriebenen Things sowie der durch den Remix induzierte Kategorieübergang ist in Abbildung 4.9 skizziert.

Im vorliegenden Datensatz lassen sich insgesamt 5.180 Remix-Beziehungen finden, die über einzelne Kategorien hinweggehen. Eine tabellarische Übersicht der Kategorieübergänge findet sich in Tabelle 4.5.

Tabelle 4.5: Matrix der induzierten Kategorieübergänge.

Von \ Nach										
	3D Printing	Art	Fashion	Gadgets	Hobby	Household	Learning	Models	Tools	Toys & Games
3D Printing	–	51	19	36	92	34	17	22	53	38
Art	58	–	103	31	54	164	22	204	18	151
Fashion	26	34	–	57	25	34	6	22	3	14
Gadgets	68	11	15	–	143	29	4	18	17	10
Hobby	112	24	14	96	–	63	24	35	56	31
Household	59	78	48	34	45	–	8	34	34	39
Learning	19	33	7	16	624	38	–	26	12	24
Models	42	166	51	20	36	77	12	–	11	172
Tools	111	25	15	31	513	94	19	13	–	32
Toys & Games	44	64	25	21	36	44	14	144	12	–

Abbildung 4.9 zeigt die zuvor tabellarisch aufgelisteten Kategorieübergänge in Form eines kompakten Kreisdiagramms (Gu et al., 2014). Die jeweilige Farbe kennzeichnet die Kategorie des Elternteils, also die Quelle der Inspiration. Zum besseren Verständnis soll kurz auf die Übergänge zwischen den beiden Kategorien „Learning“ und „Hobby“ eingegangen werden. Die Kategorie „Learning“ ist grün, „Hobby“ hingegen rot koloriert. In diesem Fall transferieren insgesamt 624 Remixe Ideen, Konzepte und Wissen von „Learning“ nach „Hobby“, während sich lediglich 24 in die entgegengesetzte Richtung bewegen (vgl. Tabelle 4.5). Die Grafik deutet darauf hin, dass die Übergänge zwischen den Kategorien äußerst unausgeglichen sind. Auf der einen Seite existieren *Spender-Kategorien*, die viel Inspiration für Remixe in anderen Kategorien liefern, selbst jedoch nur wenig Zufluss erfahren. Beispiele für solche Spender sind die Kategorien „Learning“, „Tools“ und „Art“. Auf der

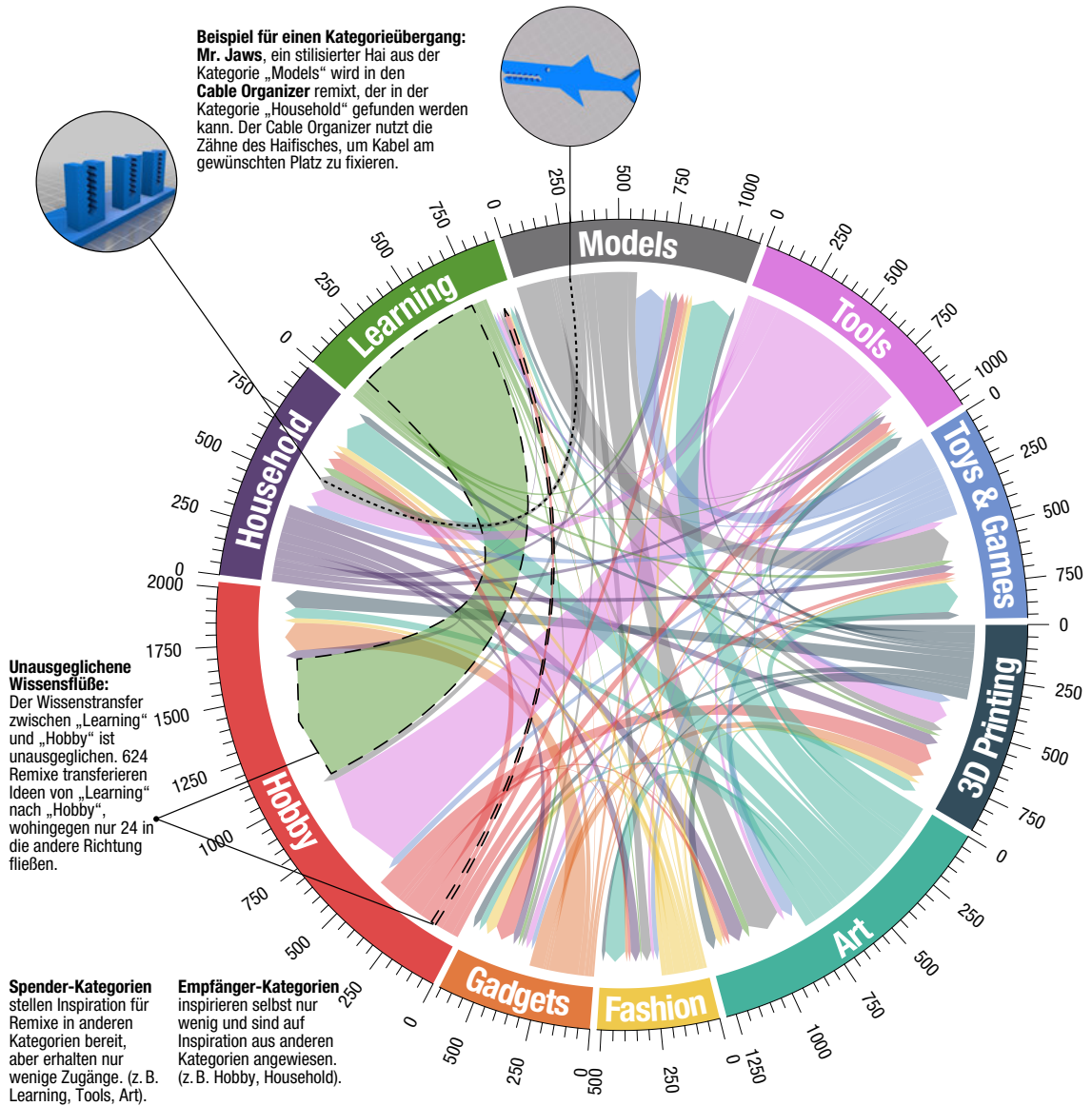


Abbildung 4.9: Kreisdiagramm der Kategorieübergänge mit dem Beispiel „Haifisch-Organizer“.

anderen Seite existieren mehrere absorbierende *Empfänger-Kategorien*, die häufig auf Inspiration aus anderen Kategorien zurückgreifen, selbst aber wenig inspirativ sind. „Hobby“ und „Household“ gehören beispielsweise zu dieser Art von Kategorie.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der Wissensaustausch und -fluss zwischen verschiedenen Kategorien nicht wechselseitig ausbalanciert, sondern hin zu absorbierenden Empfänger-Kategorien verschoben ist.

4.4.3 Plattform: Features, die das Remixen erleichtern

Die Unterstützung und Förderung der Nutzeraktivität gehört zu den Kernaufgaben einer jeden Online-Plattform. Im Falle von Thingiverse umfasst dies vornehmlich das Suchen, Entdecken und Sondieren bereits vorhandener Designs sowie die Erstellung und Veröffentlichung neuer Things bzw. Remixes. Um diese Aktivitäten zu unterstützen, stellt Thingiverse verschiedene Hilfsmittel und Funktionen zur Verfügung. Außerdem setzt Thingiverse auf einheitliche Dateiformate und ermöglicht es, Things zu erstellen, die direkt innerhalb der Webseite angepasst werden können – zwei Aspekte, die eine Wiederverwendung begünstigen.

Im weiteren Verlauf werden charakteristische Eigenschaften eines Things analysiert, die dessen Tendenz remixt zu werden beeinflussen. Im Rahmen dessen wird erläutert, wie Thingiverse es erfolgreich schafft einfache, grundlegende aber auch fortgeschrittene, komplexe Remixe zu ermöglichen.

4.4.3.1 Entdeckungspfade

Remixe basieren qua Definition auf einem oder mehreren Bausteinen. Thingiverse bietet seinen Nutzern verschiedene Möglichkeiten, um diese Bausteine, hier andere Things, die remixt werden können, zu finden. Da die Betreiber der Plattform ein Interesse daran haben, die Entstehung und Nutzung von Remixen zu unterstützen, ist es wichtig zu verstehen, welche Faktoren die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass ein Thing als Inspirationsquelle und somit Baustein für einen Remix dient.

Basierend auf den oben erläuterten Analysen ergeben sich verschiedene potentielle Kandidaten, beispielsweise ob es sich beim Thing selbst um einen Remix handelt, in welcher Generation es sich befindet, wie viele Elternteile es hat, ob es mithilfe eines Customizers generiert wurde oder ob es sich beim jeweiligen Thing um einen

Customizer handelt. Zusätzlich zu den genannten Aspekten, werden auch die folgenden Faktoren bei der Analyse berücksichtigt: Wie lange ist das jeweilige Design bereits auf der Plattform verfügbar? Ist es kategorisiert oder getaggt? Wie viele Things hat der jeweilige Designer bereits veröffentlicht? Ist das Thing als Bauteil bzw. Komponente bezeichnet und somit speziell zur Integration in andere Designs konzipiert? Wobei die Frage nach der Integration beantwortet wurde, indem der Name eines Things auf ein Vorhandensein der folgenden Begriffe geprüft wurde: „helper“, „library“, „toolkit“, „toolbox“, „gear“, „mount“, „holder“ und „bearing“.

Um Aufschluss über den Einfluss der Faktoren zu erhalten, wird ein logistisches Regressionsmodell aufgestellt (Hosmer et al., 2013). Zu Beginn wird für das Modell eine umfangreiche Liste an Variablen verwendet, die nur bezüglich ihrer Dynamik eingeschränkt wurden. Dynamische Erfolgsmetriken, wie beispielsweise die Anzahl der Aufrufe oder Downloads, werden für das Modell nicht herangezogen, da die Kausalität hier nicht eindeutig bestimmt werden kann. Es ist schlichtweg nicht klar, ob ein Thing remixt wurde, weil es viele Downloads besitzt oder infolge des Remixens oft heruntergeladen wurde. Zu den verwendeten statischen Variablen gehören verschiedene Thing-spezifische Informationen, wie die Anzahl der Elternteile oder das Veröffentlichungsdatum. Stark gestreute Variablen wurden zusätzlich log-transformiert. Die vollständige Liste der Variablen lautet wie folgt: Kategorie (10 Variablen), auf der Plattform empfohlen, durch Thingiverse verifiziert, ist ein Remix, ist Remix eines Customizers, ist selbst Customizer, logarithmierte Anzahl der Tags, Anzahl der Tags, Anzahl der Elternteile, mehrere Elternteile, Generation, ist als Komponente gekennzeichnet, ist als parametrisch gekennzeichnet, Alter, logarithmiertes Alter, Anzahl der Designs des jeweiligen Designers und die logarithmierte Anzahl der Designs.

Basierend auf der kompletten Liste an Variablen wird schrittweise rückwärts eine Modellauswahl auf Basis des Bayesschen Informationskriteriums (BIC) durchgeführt (Schwarz, 1978; Burnham, 2004; Venables und Ripley, 2007). Zum besseren Vergleich sind die Modelle mit fünf bzw. zehn unabhängigen Variablen ebenfalls mit aufgeführt. Die Ergebnisse der drei Modelle sind in Tabelle 4.6 dargestellt.

Die fünf Faktoren mit dem größten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit remixt zu werden, finden sich im Modell mit fünf Variablen. Hierzu gehören: ob es sich beim jeweiligen Thing um einen Customizer handelt, ob das Thing selbst Remix eines Customizers ist, ob das Thing ein Remix ist, das logarithmierte Alter und der

Tabelle 4.6: Regression zu Entdeckungspfaden (abhängige Variable: „Thing wurde remixt“).

Unabhängige Variablen	Modell		
	5 Variablen	10 Variablen	Minimum BIC
Customizer	4,200*** (0,065)	4,190*** (0,064)	4,230*** (0,065)
Customizer-Remix	-3,810*** (0,062)	-3,570*** (0,063)	-3,550*** (0,064)
Remix	0,865*** (0,023)	0,695*** (0,025)	0,678*** (0,026)
log(Alter)	0,650*** (0,012)	0,592*** (0,012)	0,649*** (0,014)
log(Anzahl der Tags)	0,554*** (0,012)	0,511*** (0,012)	0,603*** (0,025)
Empfehlung		0,820*** (0,038)	0,872*** (0,039)
Anzahl der Elternteile ≥ 2		0,479*** (0,049)	0,457*** (0,049)
Kategorie: 3D Printing		0,463*** (0,025)	0,463*** (0,031)
log(Anzahl der Things des Designers)		0,196*** (0,009)	0,197*** (0,009)
Anzahl der Things des Designers		-0,001*** (0,000)	-0,001*** (0,000)
Verifiziert durch Thingiverse			1,170*** (0,188)
Kategorie: Gadgets			0,314*** (0,044)
Kategorie: Toys & Games			0,276*** (0,044)
Kategorie: Hobby			0,172*** (0,039)
Nicht kategorisiert			-0,198*** (0,033)
Kategorie: Household			-0,192*** (0,039)
Komponente			0,142*** (0,040)
Tags			-0,021*** (0,005)
Konstante	-6,920*** (0,074)	-7,080*** (0,079)	-7,460*** (0,088)
Nagelkerke R ²	0,351	0,364	0,368
C-Index	0,882	0,889	0,890
BIC	72.989	71.685	71.398
Beobachtungen		213.096	

*Hinweis:** $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Logarithmus der Anzahl der Tags. Das Modell mit fünf unabhängigen Variablen besitzt ein Nagelkerke R^2 von 0,351 und einen C-Index von 0,882. Die komplexeren Modelle mit einer höheren Anzahl an Variablen verbessern diese Werte leicht. Das Modell mit dem geringsten BIC erreicht ein Nagelkerke R^2 von 0,368 und einen C-Index von 0,890.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse deuten darauf hin, dass je länger sich ein Thing auf der Plattform befindet, desto größer seine Wahrscheinlichkeit ist remixt zu werden. Ebenso nachvollziehbar ist die Tatsache, dass Customizer mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit remixt werden, da diese von Designern, unabhängig vom jeweiligen Erfahrungsniveau, auf einfache Art und Weise innerhalb der Plattform angepasst werden können. Ein Remix eines Customizers wiederum ist bereits zu speziell, um als geeigneter Input für weitere Remixe zu dienen. Im Gegensatz dazu werden normale Remixe mit einer höheren Wahrscheinlichkeit remixt. Wenig überraschend ist, dass Things, die nicht kategorisiert sind, weniger wahrscheinlich remixt werden. Designer, die in Kategorien stöbern, können diese schlichtweg nicht entdecken. Diesem Ansatz folgend, zeigt sich, dass die Anzahl der beschreibenden Tags die Wahrscheinlichkeit positiv beeinflusst. Things, die auf der Plattform empfohlen werden, genießen eine enorme Sichtbarkeit bzw. hohe Aufmerksamkeit innerhalb der Community, die wiederum zu einer höheren Remix-Aktivität führt. Außerdem werden Designs, deren Kompatibilität durch Thingiverse verifiziert wurde, und Things, die auf mehreren Elternteilen basieren, bereitwilliger herangezogen, um ein neues Thing zu remixen. Things, deren Name impliziert, dass es sich um eine integrierbare bzw. wiederverwendbare Komponente handelt, dienen der Plattform als Basis für nachfolgende Remixe und besitzen dementsprechend eine höhere Wahrscheinlichkeit remixt zu werden. Die Ergebnisse der Analyse deuten auch an, dass die Kategorie, der ein Thing zugeordnet ist, einen Einfluss hat. Die Kategorie „3D Printing“ beispielsweise, enthält viele funktionelle Teile, die oftmals als Bausteine für neue Designs konzipiert sind und häufig inkrementell weiterentwickelt werden. Weitere Kategorien mit einer hohen Remix-Wahrscheinlichkeit sind „Gadgets“, „Toys & Games“ und „Hobby“, wohingegen Things der Kategorie „Household“ weniger wahrscheinlich remixt werden. Schließlich bleibt auch festzuhalten, dass Things von Designern, die verschiedene weitere Modelle auf der Plattform zur Verfügung stellen, dazu tendieren, häufiger remixt zu werden.

Insgesamt ist zu erkennen, dass die Vernetzung eines Things einen starken Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit hat remixt zu werden. Es ist also von großer Bedeutung, auf welchen *Entdeckungspfad* ein Thing gefunden werden kann.

4.4.3.2 Vom Seichten ins Tiefe: Komplexität der Remixe

Remixe basieren auf einem oder mehreren Elternteilen. Eltern können aus der gleichen Kategorie wie der zugehörige Remix stammen oder aus einer anderen. Diese Eigenschaften werden im Folgenden genutzt, um die Komplexität des vorausgegangenen Remix-Prozesses zu bestimmen. Da in der Wissenschaft keine anerkannte, allgemeingültige Definition von Komplexität existiert, wird für eine Beschreibung häufig auf Beispiele aus der realen Welt bzw. jeweiligen Umgebung zurückgegriffen (Johnson, 2009). In diesen Beispielen wird die Komplexität dann anhand der Interaktion und Vernetzung der jeweiligen Objekte abgeleitet (Johnson, 2009). Die Tiefe (Nakamura et al., 2015; Katila und Ahuja, 2002) und die Breite (Majchrzak et al., 2004; Enkel und Gassmann, 2010; Kaplan und Vakili, 2015) eines Rekombinations-Prozesses sind zwei generelle Kriterien, um Kombinationen voneinander zu differenzieren (Hwang et al., 2014; Althuizen und Reichel, 2016). Im vorliegenden Fall werden Remixe anhand der zwei Kriterien Remix-Abstammung und Eltern-Kategorie unterschieden. Diese spiegeln die zuvor erwähnten Kriterien wieder und sind außerdem im vorliegenden Datensatz objektiv messbar. Auf Basis der beiden Kriterien bzw. Dimensionen kann eine Komplexitätsmatrix erzeugt werden. Diese ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Neben einer grafischen Veranschaulichung und Benennung der unterschiedlichen, möglichen Komplexitätslevel ist auch die jeweilige Häufigkeit mit aufgeführt. Es wird deutlich, dass sowohl sehr einfache als auch äußerst komplexe Remixe auf der Plattform zu finden sind.

Die beiden linken Einträge der Matrix beschreiben die simpelste Form des Remixens auf Thingiverse – das Remixen mithilfe eines Customizers. Designer sind in der Lage, einen Customizer im Rahmen einiger vorgegebener Parameter an individuelle Vorstellungen anzupassen und auf diese Weise ein neues Thing zu erzeugen. Den Customizer der Plattform zeichnet aus, dass die beschriebenen Anpassungen direkt innerhalb der Webseite, ohne spezielles CAD-Know-how, möglich sind. Ein Beispiel für einen beliebten Customizer ist eine Smartphone-Hülle, bei der das Telefonmodell sowie das Muster der Rückseite ausgewählt bzw. angepasst werden können. Customizer-Remixe sind die bei weitem einfachste und auch populärste Form der

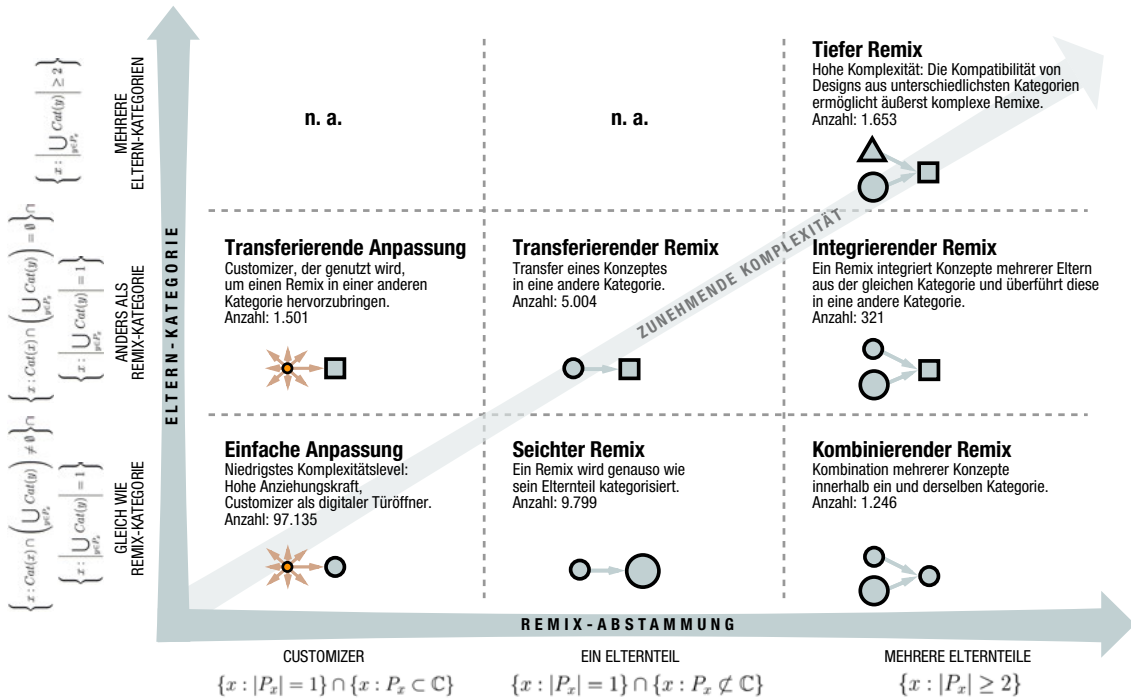


Abbildung 4.10: Remix-Komplexitätsmatrix.

Remixe auf Thingiverse. Die Plattform unterstützt diese Form des Remixens dadurch, dass alle für das Remixen benötigten Hilfsmittel direkt auf der Webseite zur Verfügung gestellt werden. Es ist deshalb nachvollziehbar, dass die *einfache Anpassung* die meisten Remixe hervorbringt. Falls der Remix eines Customizers anders als der Customizer selbst kategorisiert wird, wird dies als *transferierende Anpassung* bezeichnet.

Tiefe Remixe – Kombinationen mehrerer Elternteile aus unterschiedlichen Kategorien – können 1.653 Mal im Datensatz gefunden werden. Diese komplexen Rekombinationen werden nicht direkt durch eine Funktionalität ermöglicht, sondern vielmehr durch die Richtlinien zur Nutzung der Plattform. Alle Designs, über alle Kategorien hinweg, werden in einem standardisierten Dateiformat angeboten und sind dementsprechend von Haus aus miteinander kompatibel. Die Designs werden außerdem unter einer offenen Lizenz zur Verfügung gestellt, die das Remixen explizit beinhaltet. Falls also Designer verschiedene Things finden, die sie inspirieren, müssen diese nicht erst herausfinden, ob es möglich bzw. erlaubt ist die Things zu remixen, da die Plattform die Kompatibilität aus technologischer und rechtlicher Perspektive sicherstellt.

Zwischen den beschriebenen Extrema liegen verschiedene weitere Komplexitätslevel. *Seichte Remixe* repräsentieren ein relativ geringes Level an Originalität und Schöpfungshöhe. Hier nutzt ein Designer ein einzelnes Design, um daran Anpassungen vorzunehmen. Ein *kombinierender Remix* bezeichnet einen Remix, der Konzepte mehrerer Things derselben Kategorie in einem Best-of vereint. Ein *transferierender Remix* verwendet ein Konzept oder einen Lösungsansatz aus einer Kategorie und wendet diesen in einer neuen Kategorie an. Der *integrierende Remix* beschreibt einen Remix, bei dem Eltern aus derselben Kategorie zu einem Thing kombiniert werden, das dann einer anderen Kategorie zugeordnet wird.

Die Tatsache, dass die Plattform Remixe unterschiedlichster Komplexitätslevel enthält, belegt die Attraktivität für Nutzer mit unterschiedlicher Expertise. Neulinge ohne Erfahrung im dreidimensionalen Modellieren können beispielsweise einfach damit beginnen simple Customizer-Remixe zu erzeugen. Im Gegensatz dazu können Experten komplexe Kombinationen verschiedenster Designs mithilfe der CAD-Software ihrer Wahl erstellen.

4.4.4 Person: die Nutzerschaft von Thingiverse

Der letzte Aspekt des Remix-Phänomens, der hier betrachtet werden soll, sind die Nutzer der Plattform. Um einen ersten Einblick in die Nutzerschaft von Thingiverse zu erhalten und diese besser zu verstehen, dient Tabelle 4.7. Diese listet die Top-Ten-Designer basierend auf der Gesamtzahl der Aufrufe ihrer Things. Das führende Trio kann jeweils mehr als eine Million Aufrufe ihrer Things für sich verzeichnen und kommt in Summe auf über 1,4 Millionen Downloads. Betrachtet man die Kategorien, in denen die Designer jeweils Things veröffentlicht haben, so fällt auf, dass alle aufgeführten Designer in mehreren Kategorien aktiv sind. Drei der Designer haben sogar in allen elf möglichen Kategorien Things veröffentlicht. Neben den angesprochenen Aufmerksamkeits- und Erfolgsmetriken gibt die tabellarische Übersicht auch Hinweise auf das Designverhalten. Es zeigt sich, dass unter den Top Ten der Anteil von Remixen an der Gesamtzahl aller Designs (R-Anteil) stark schwankt und zwischen 0,04 und 0,77 liegt. Dies deutet darauf hin, dass grundlegend verschiedene Wege zum Erfolg führen. Sowohl hauptsächlich originäre Designer als auch geschickte Remixer können äußerst erfolgreich sein. Customizer jedoch werden von dieser Gruppe extrem selten genutzt (C-R-Anteil), was im Gegensatz

Tabelle 4.7: Top Ten der Designer mit den häufigsten Aufrufen.

Platzierung	Designer	Things	Aufrufe [10 ⁶]	Downloads [10 ⁵]	Likes [10 ⁴]	Makes [10 ³]	Kommentare [10 ³]	Kategorien	R-Anteil	C-R-Anteil
1	MakerBot	334	3,89	7,74	3,92	1,86	2,08	11	0,11	0,00
2	emmett	64	2,05	4,33	2,08	1,60	1,60	10	0,77	0,03
3	tbuser	248	1,09	2,09	0,76	0,57	0,98	9	0,56	0,14
4	dutchmogul	186	0,98	1,40	1,25	0,33	1,24	6	0,19	0,01
5	cerberus333	474	0,92	1,57	1,06	0,94	1,32	9	0,04	0,00
6	MakeALot	164	0,88	1,83	0,91	0,49	1,03	9	0,27	0,01
7	PrettySmallThings	56	0,80	1,48	0,60	0,25	0,35	6	0,30	0,00
8	TheNewHobbyist	83	0,71	0,71	0,63	0,20	0,37	11	0,33	0,06
9	walter	125	0,70	1,12	1,39	0,26	0,37	7	0,33	0,03
10	MakerBlock	172	0,70	1,47	0,39	0,17	0,55	11	0,41	0,02

zur allgemeinen Nutzerschaft steht, in der Customizer-Remixe die dominante Form des Remixens darstellen (vgl. Abbildung 4.10).

4.4.4.1 Nutzergruppen

Das Wissen um die Unterschiede im Designverhalten zwischen der allgemeinen Nutzerschaft und dieser ausgewählten Gruppe von Top-Designern wird im Folgenden genutzt, um die Nutzerschaft zu segmentieren und zu analysieren. Abbildung 4.11 zeigt die Nutzersegmente, die sich aus der Aufteilung nach R- und C-R-Anteil ergeben. Die Dichtefunktion des Remix-Verhaltens nimmt die Form einer Badewannenkurve an (vgl. Abbildung 4.11, Histogramm oben). Entsprechend lässt sich der Großteil der Designer einem der beiden folgenden Stereotypen zuordnen: „Niemals-Remixer“, die keinen Gebrauch von der Möglichkeit des Remixens machen, und „Immer-Remixer“, die all ihre Designs auf Basis anderer Things entwerfen. Eine ähnliche Aufteilung zeigt sich auch in Bezug auf die Benutzung von Customizern (vgl. Abbildung 4.11, Histogramm rechts): Eine Gruppe von Designern nutzt überhaupt keine Customizer, die andere verlässt sich gänzlich auf die verfügbare Funktionalität der Anpassung.

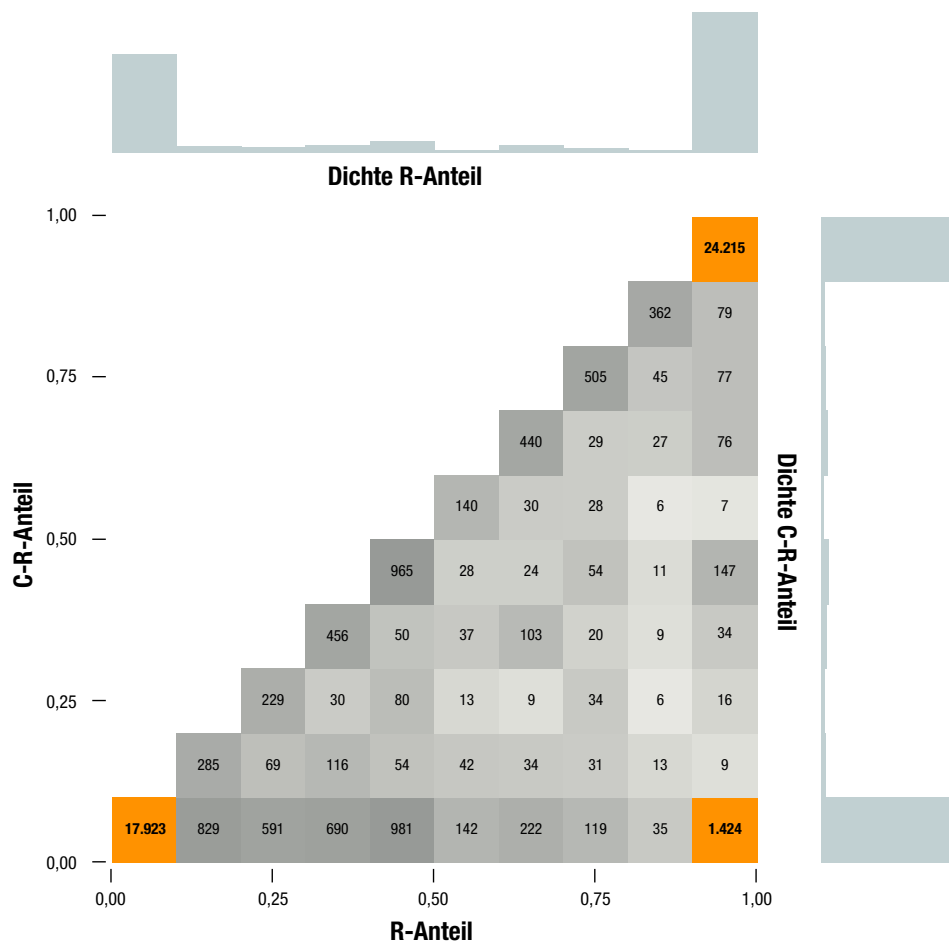


Abbildung 4.11: Nutzersegmente nach R- und C-R-Anteil.

Diese Erkenntnisse werden genutzt, um eine Klassifikation der Nutzerbasis vorzunehmen. Neben dem R-Anteil, der stellvertretend für den Designstil herangezogen wird und dem C-R-Anteil, der Rückschlüsse auf die Differenziertheit gibt, wird zusätzlich das Datum der Veröffentlichung des ersten Designs herangezogen, um auf die Erfahrung der einzelnen Nutzer zu schließen. Durch Teilung am Median des ersten Uploads und bei Anteilen von jeweils 50% ergibt sich die in Abbildung 4.12 skizzierte Taxonomie.

Zieht man die durch Nutzer gemeldeten Makes als Kriterium für die Attraktivität eines Designs heran, so lässt sich auch hier feststellen, dass sowohl Remixen als auch isoliertes Designen gleichermaßen geeignete Strategien sind, um erfolgreiche Things zu entwickeln. Unter den erfolgreichen Designern befinden sich jedoch weniger Remixer als Designer von isolierten Designs. Die Zeit auf der Plattform und damit die Erfahrung eines Designers wirkt sich ebenfalls positiv auf den Erfolg eines Things

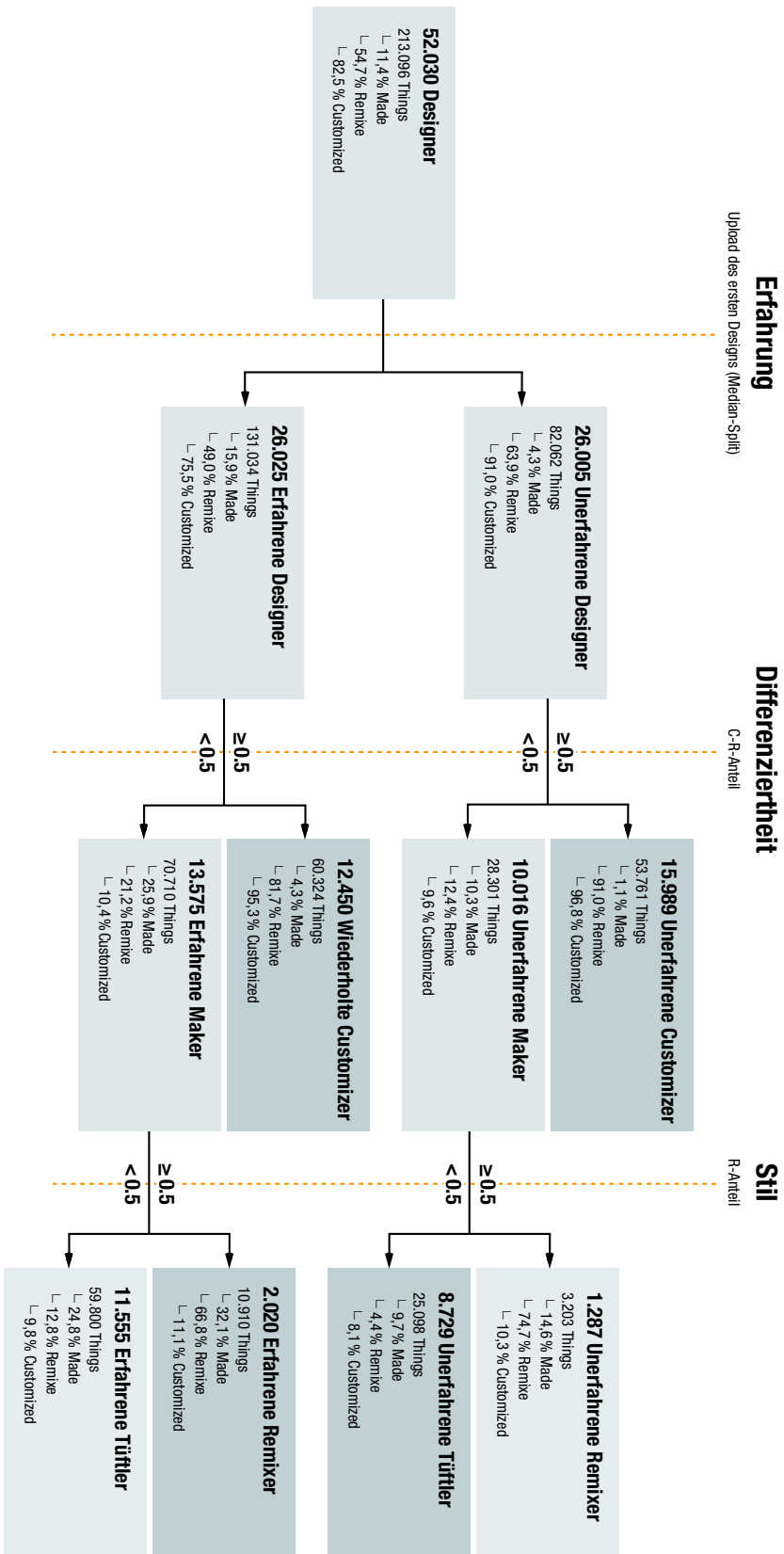


Abbildung 4.12: Taxonomie der Nutzerbasis von Thingiverse.

aus. Die Prozentzahlen bestätigen auch, dass das bloße, simple Anpassen eines Customizers nur selten erfolgreiche Things hervorbringt. Dies macht insofern Sinn, als dass die Nutzung eines Customizers in aller Regel so einfach ist, dass ein Nutzer wohl eher selbst einen eigenen Customizer-Remix erstellt, als den eines anderen Designers wiederzuverwenden.

4.4.4.2 Dynamik des Wachstums

Nach der Klassifikation der Zusammensetzung der Nutzerschaft von Thingiverse, wird diese nun aus einer dynamischeren Perspektive betrachtet, um einschätzen zu können, wie sich die Struktur im Laufe der Zeit gebildet hat. Abbildung 4.13 zeigt die Anzahl neuer Designer pro Woche, die zum ersten Mal ein Design auf der Plattform veröffentlichen. Das Wachstum der Nutzerbasis lässt sich im Wesentlichen in zwei unterschiedliche Abschnitte aufteilen: einen langsamen, sukzessiven Anstieg vom Beginn der Plattform bis Ende 2012 und eine starke Zunahme seit Anfang 2013. Diese drastische Änderung trifft mit der Einführung des Customizers zusammen, der die Plattform für wenig erfahrene Nutzer geöffnet hat (MakerBot, 2013; Pelkey, 2013).

Um die beschriebenen Effekte quantitativ zu belegen, wird eine lineare Regression durchgeführt (Weisberg, 2014). Die neuen Designer pro Woche Y_i , in Woche i seit

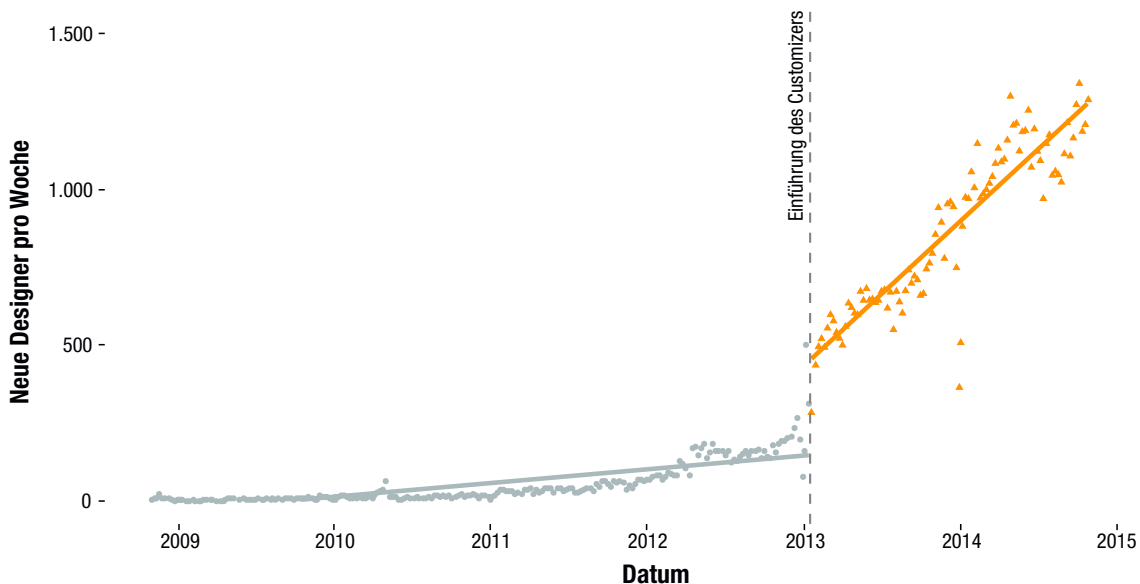


Abbildung 4.13: Wöchentliches Wachstum der Thingiverse-Nutzerbasis.

Einführung der Plattform, werden dabei in Beziehung zur Dummy-Variable C_i gesetzt, die angibt, ob die Funktionalität des Customizers auf der Plattform zur Verfügung steht. Hieraus ergibt sich die folgende Funktion: $Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot i + \beta_2 \cdot i \cdot C_i + \beta_3 \cdot C_i$. Die Koeffizienten β_1 und β_4 treffen auf alle Beobachtungen zu, wobei β_2 und β_3 jeweils nur auf die Beobachtungen nach Einführung des Customizers zutreffen ($C_i = 1$). Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Tabelle 4.8 aufgelistet und bestätigen den postulierten zweifachen Effekt.

Die Anzahl der Designer, die der Plattform innerhalb einer Woche neu beitreten, ist nach Verfügbarkeit des Customizers unmittelbar sprunghaft um 300 angestiegen ($\beta_2 \cdot \text{Einführungswoche} - \beta_3$). Außerdem nimmt auch die Steigung der Wachstumskurve um 1.000% zu und erhöht sich von 0,8 auf 8,8. Die Ergebnisse bleiben auch dann bestehen, falls nur Designer herangezogen werden, die mehrfach Things veröffentlicht haben.

Grundsätzlich kann das konstante Wachstum der Beitrittsrate Mitnahme- und Nachahmungseffekten einer gesteigerten Aktivität auf der Plattform zugeschrieben werden, die wiederum auf eine zunehmende Ansammlung von Things und Designern zurückgeht. Der Sprung lässt sich zum Teil einem gesteigerten Medieninteresse und der Publicity zuschreiben, die mit der Einführung des Customizers einherging, sowie der neuen Möglichkeit für unerfahrene Designer auch zu Thingiverse beizutragen. In Anbetracht der enormen Größe des Customizer-Segments (vgl. Abbildung 4.10 und 4.12) kann davon ausgegangen werden, dass der zweite Effekt eine zentrale Rolle

Tabelle 4.8: Regression zur Dynamik der Nutzerpopulation (abhängige Variable: „Neue Designer pro Woche“).

	Abhängige Variable	
	Neue Designer pro Woche	
Zeitpunkt der Beobachtung (in Wochen) (β_1)	0,834***	(0,071)
Zeitpunkt der Beobachtung · Customizer-Verfügbarkeit (β_2)	7,947***	(0,270)
Customizer-Verfügbarkeit (β_3)	-1.476,153***	(71,761)
Konstante (β_0)	-41,974***	(9,200)
Beobachtungen	318	
Zentriertes R ²	0,971	
Residuenfehler	68,618 (df = 314)	
F-Statistik	3.530,478*** (df = 3; 314)	
<i>Hinweis:</i>	<i>*p < 0,1; **p < 0,05; ***p < 0,01</i>	

spielt. Die Einführung des Customizers hat Thingiverse ermöglicht, eine vormals unerschlossene, sehr große Nutzergruppe zu erschließen.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Einführung einfach individualisierbarer Things, in Form des Customizers, die Struktur der Nutzerschaft von Thingiverse nachhaltig verändert hat. Die unkomplizierte Erstellung neuer Customizer-Remixe hat vor allem viele „einfache“ Nutzer dazu bewogen, der Plattform beizutreten und somit zur Entstehung eines schnell wachsenden Nutzersegments unerfahrener Designer beigetragen. Dies hat nicht zuletzt dazu geführt, dass Thingiverse mittlerweile eine dominante Position am Markt innehat – sowohl in Bezug auf die Anzahl der verfügbaren Designs wie auch der angemeldeten Nutzer (vgl. Abschnitt 3.4.2.2). Nicht außer Acht gelassen werden sollte allerdings, dass eine heterogene Nutzerschaft zukünftig auch Herausforderungen für das Management der Community mit sich bringen kann.

4.5 Diskussion

Bislang hat das Phänomen des Remixens nur wenig Aufmerksamkeit von Seiten der Wirtschaftsinformatik erhalten. Dieser Mangel an vorausgehender Forschung steht in scharfem Widerspruch zum Aufkommen und der anschließenden Ausbreitung offener Online-Plattformen, die eine Basis für den Austausch und die Wiederverwendung von Wissen bilden (Sambamurthy und Subramani, 2005; Huysman und Wulf, 2006; Mitchell und Subramani, 2010). Um Aufschluss über das Remixen als Quelle von Innovationen in diesen digitalen Umgebungen zu erhalten, wurde ein explorativer Ansatz gewählt, der Daten heranzieht, die auf der weltweit größten 3D-Druck-Plattform und -Community gesammelt wurden. In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die theoretischen und praktischen Implikationen diskutiert und abschließend Einschränkungen und zukünftige Forschungsperspektiven erläutert.

4.5.1 Implikationen für die Forschung

In Bezug auf die Theorie lassen sich aus der Studie verschiedene Behauptungen bzw. Implikationen ableiten, die im Folgenden als generalisierte Forschungsthesen T_1 – T_5 aufgestellt werden. So kann zukünftige, explorative Forschung auf den Thesen aufbauen und diese iterativ ergänzen. Langfristig kann auf diese Weise ein kohärentes, theoretisches Framework entwickelt werden, das die Rolle des Remixens

in Innovationsprozessen erklärt. Andererseits können andere Forschungsvorhaben die aufgestellten Thesen nutzen, um auf deren Basis prüfbare Hypothesen aufzustellen. Die hier präsentierten Ergebnisse können auf diese Weise auch in anderen Kontexten überprüft und erweitert werden.

Eine erste Erkenntnis aus der Studie ist, dass das Remixen eine *zentrale Rolle* in offenen Online-Communities spielen kann. Die Ergebnisse der Untersuchung deuten darauf hin, dass mehr als die Hälfte der Inhalte auf Thingiverse nicht verfügbar wäre, wenn die Plattform das Remixen nicht explizit unterstützen würde. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass der Effekt immer noch unterschätzt wird, da Designer selbst dafür verantwortlich sind, etwaige Remix-Beziehungen anzugeben. Obwohl dies Hand in Hand mit der Literatur geht, die die Bedeutung von Rekombinationen für die Entwicklung neuer Ideen immer wieder betont, ist die enorme Anzahl der Remixe auf Thingiverse bemerkenswert. Intuitiv geht man davon aus, dass Nutzer ihre Inspiration von Quellen außerhalb der Plattform erhalten. Möchte ein Nutzer beispielsweise eine Tasse designen und fertigen, so nimmt man an, dass seine Inspiration von Tassen aus der realen Welt stammt oder sein Design einem bestimmten Zweck dient bzw. ein konkretes Bedürfnis erfüllen soll. Trotzdem basiert die Hälfte der Designs von Thingiverse auf früheren Designs von genau derselben Plattform. Darüber hinaus zeigen die Daten, dass das Remixen in verschiedenen Dimensionen der Plattform einen hohen Stellenwert hat. Die Bedeutung zeigt sich in der Anzahl der Inhalte ebenso wie in der Attraktivität der Plattform nach außen hin und der Aktivität innerhalb der Community. Die Tatsache, dass mehr als die Hälfte der Designs auf anderen Things basiert, zeigt, welche bedeutende Rolle die Plattform selbst im kreativen Prozess ihrer Nutzer einnimmt. Berücksichtigt man all diese Beobachtungen, kommt man zu dem Schluss, dass ohne das Remixen ein Großteil der Online-Aktivitäten der Community schlicht nicht vorhanden wäre.

T₁: Neben der Entstehung isolierter Designs sind Remixe eine zweite, bedeutende Innovationsquelle in offenen Online-Communities.

Außerdem wurde nachgewiesen und diskutiert, dass Remixen in offenen Online-Plattformen in vielen verschiedenen Formen stattfindet und bestimmten Mustern folgt. Betrachtet man diese aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln, lassen sich *konvergente und divergente Remix-Muster* unterscheiden. Diese beschriebenen Muster haben auch außerhalb von Thingiverse ihre Berechtigung und Bedeutung. Sie beschreiben

grundlegende Formen der Rekombination, die sich auch auf andere offene Plattformen übertragen lassen. Die Muster erweitern darüber hinaus die bestehende Forschung, beispielsweise auf dem Feld der Mensch-Computer-Interaktion, wo Oehlberg et al. (2015) sechs häufige Netzwerkmodelle in Remix-Graphen beschreiben. Außerdem ist es naheliegend, dass die identifizierten Remix-Muster auch in anderen Kontexten, außerhalb von offenen Online-Communities, hilfreich sind. Wenn das Verständnis davon, wie Kombinationen existierender Bausteine zu neuen Erkenntnissen führen können, tatsächlich der „Heilige Gral“ der Innovationsforschung ist (Gruber et al., 2013), so erweist sich diese Studie hoffentlich hilfreich bei der Suche danach.

T₂: Remixe treten in Form mehrerer verschiedener, klar unterscheidbarer Pfade auf, zu denen konvergente und divergente Muster gehören.

Die Mehrheit der Remixe des Datensatzes bleibt innerhalb der Grenzen ihrer Elternkategorie. Nichtsdestoweniger existieren einige Remixe, die Konzepte und Ideen in andere Situationen und Umfelder transferieren und infolgedessen für *Kategorieübergänge* verantwortlich sind (Goel, 1997; Perkins, 1997). Wie bisherige Untersuchungen andeuten, ermöglicht eine Kombination von entferntem, breit gefächertem Wissen bahnbrechende Innovationen (Schoenmakers und Duysters, 2010; Kaplan und Vakili, 2015; Nakamura et al., 2015). Insbesondere Innovatoren, die in der Lage sind, neuartige Perspektiven und Ideen aus ihrer Domäne auf Fragestellungen aus anderen Disziplinen zu transferieren, sind erfolgreich (Jeppesen und Lakhani, 2010). Transitionen zwischen den unterschiedlichen Kategorien von Thingiverse haben sich als asymmetrisch herausgestellt. Das bedeutet, dass Kategorien entweder Wissen absorbieren oder stiften. Der Fluss von Wissen und dessen Wiederverwendung gehören zu den wichtigsten Wettbewerbsvorteilen (Galunic und Rodan, 1998; Watson und Hewett, 2006; Carnabuci und Operti, 2013). Es ist deshalb essentiell, ein tieferes Verständnis von Wissensflüssen zu erhalten. Die Asymmetrie der Wissensflüsse zwischen unterschiedlichen Kategorien bzw. Domänen verdient mehr Aufmerksamkeit, insbesondere wenn interdisziplinäre Kooperation propagiert und bewertet wird.

T₃: Die Koexistenz verschiedener Kategorien ermöglicht Kategorieübergänge infolge des Remixens. Diese sind asymmetrisch, wobei Kategorien dazu tendieren, Ideen zu absorbieren oder zu spenden.

IT-Artefakte können die Entstehung und Nutzung von Wissen dadurch unterstützen, dass sie Personen dabei helfen, Ideen auszutauschen und wiederzuverwenden, beispielsweise bei der Suche nach Inspiration (Markus, 2001; Romer, 2008; Shneiderman, 2007; von Krogh, 2012; Yew und Monroy-Hernández, 2014). Im Fall von Thingiverse ist es so, dass die Plattform verschiedene Wege anbietet, um inspirierende Designs zu finden. In der Untersuchung werden diese als *Entdeckungspfade* bezeichnet. Unter anderem zeigen die Ergebnisse, dass die Anzahl der Tags eines Things einen positiven Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit hat, selbst remixt zu werden. Die Beschreibung und weiterführende Metadaten spielen deshalb eine wichtige Rolle, wenn es darum geht das Remixen zu erleichtern, da alle Remixe mit der Entdeckung von etwas beginnen, das es wert ist, remixt zu werden.

Um mehr darüber herauszufinden, wie sich IT-Systeme auf eine Wiederverwendung auswirken, wurden alle Remixe entsprechend ihres Komplexitätslevels gruppiert. Mithilfe der sich daraus ergebenden *Komplexitätsmatrix* kann gezeigt werden, dass Thingiverse Customizer-Remixe und tiefe Remixe auf unterschiedliche Arten ermöglicht. Customizer sind IT-Artefakte, die simple, flache Remixe direkt auf der Plattform erlauben. Aufgrund ihrer Einfachheit sind Customizer oftmals die Eintrittskarte zum Remixen für Einsteiger. Sie stellen aber auch ein einfaches Werkzeug für all die Nutzer dar, die nur einfachste Änderungen an einem bestehenden Design vornehmen wollen. Im Gegensatz dazu werden tiefe Remixe durch die Regeln und Standards der Plattform ermöglicht, die die Kompatibilität aller Designs sicher stellen. Hewett (2005) fordert Informationssysteme, die Nutzern die Möglichkeit bieten, erweiterbare, digitale Aufbewahrungsorte für wiederverwendbare Objekte anzulegen. Thingiverse stellt genau das zur Verfügung und zieht, durch die Möglichkeit sich auf verschiedenen Wegen mit den Inhalten der Plattform auseinanderzusetzen, sowohl Neulinge als auch Experten an. Couger et al. (1993) kritisieren, dass das Thema Kreativität in der Wirtschaftsinformatik vernachlässigt wird. Auch zwei Jahrzehnte später erweist sich diese Kritik immer noch als gerechtfertigt (Seidel et al., 2010; Müller-Wienbergen et al., 2011; Turpin et al., 2015). In einem Versuch in diese Forschungslücke vorzudringen, wird gezeigt, wie IT-Systeme das Remixen in offenen Online-Communities ermöglichen. Auf diese Weise wird die bestehende Forschung zu IT-Artefakten, die die Kreativität fördern und Nutzer im kreativen Schaffensprozess unterstützen, erweitert (Markus, 2001; Huysman und Wulf, 2006; Aragon et al., 2009; Leimeister et al., 2009).

T₄: Die Effektivität des Remixens auf Online-Plattformen und deren Attraktivität für verschiedene Nutzergruppen wird durch eine Vielzahl von Funktionen zur Entdeckung und Verarbeitung der Inhalte beeinflusst.

Das Konzept des Remixens ist in verschiedenen Referenzgruppen üblich (Lenhart und Madden, 2005; Knobel und Lankshear, 2008; Payton, 2016). Dies spiegelt sich auch im Wachstum der Nutzerschaft der Plattform nach Einführung des Customizers wider, der Nutzern ohne vorheriges Modellierungswissen das Remixen ermöglicht. Dennoch remixen nicht alle Designer. Die meisten Designer können einem von zwei Stereotypen zugeordnet werden. So machen diese entweder exzessiv Gebrauch von der Möglichkeit Remixe zu erstellen oder sie remixen praktisch nicht. Die Designer, die remixen, fallen wiederum in zwei Untergruppen: Diejenigen, die auf den Customizer angewiesen sind und die, die diesen praktisch nie nutzen. Die unterschiedlichen Nutzergruppen zeigen, dass keine allgemeingültige Lösung existiert, wenn es darum geht, Nutzer in ihrer Kreativität zu unterstützen und zu fördern. Vielmehr ist es so, dass sich Nutzer stark voneinander unterscheiden und offene Online-Plattformen verschiedene Lösungswege anbieten müssen, um dem gerecht zu werden.

T₅: Um Innovationen in Online-Communities zu begünstigen, müssen Plattformen auf die Bedürfnisse und Interessen verschiedener Nutzergruppen eingehen, die jeweils unterschiedliche Vorlieben in Bezug auf die angebotenen Funktionalitäten besitzen.

4.5.2 Implikationen für die Praxis

Ein tieferes Verständnis des dem Remixen zugrunde liegenden Konzeptes ist notwendig, um kreative Communities zu entwerfen und instand zu halten. Schließlich lassen sich auf diese Weise Ideen, Lösungsansätze und Innovationen generieren. Vor diesem Hintergrund erscheinen die nachfolgenden fünf Aspekte in der Managementpraxis besonders relevant:

- *Möglichkeiten der Erkundung*

Eine Community, die möchte, dass ihre Nutzer bestehende Inhalte remixt, muss den Nutzern ermöglichen, die gewünschten Inhalte zu finden. Um *vielfältige Entdeckungspfade* anzubieten, muss eine Plattform unterschiedliche Wege und Möglichkeiten zur Verfügung stellen, die jeweiligen Inhalte zu sichten und letztendlich zu finden. Auf Thingiverse können Nutzer den Modellkatalog unter

anderem anhand spezifischer Begriffe, Kategorien, Tags, Gruppen und mithilfe verschiedener Funktionalitäten durchsuchen. Diese Vielzahl an Entdeckungspfaden erhöht die Chance, dass ein Nutzer auf etwas stößt, das ihn inspiriert. Mit der Anzahl von Möglichkeiten, die eine Plattform hierzu zur Verfügung stellt, steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass einer ihrer Inhalte remixt wird.

- *Werkzeuge für Laien*

Die Remix-Aktivität verzeichnete einen sprunghaften Anstieg, als Thingiverse die Möglichkeit geschaffen hat, bestehende Things mithilfe des Customizers zu individualisieren. Die neue Funktionalität erlaubt Designern, die über äußerst wenig Erfahrung verfügen, Designs zu remixen und senkt dementsprechend die Eintrittsbarriere. Solche *Werkzeuge für nichttechnische Nutzer* dienen als „Einstiegsdroge“ für zukünftige Designer. Die Einfachheit und Unkompliziertheit der Funktionalität erlaubt jedem schnelle Erfolge zu erzielen, was mittelfristig dafür sorgt, dass Nutzer motiviert werden, sich intensiv mit der Technologie auseinanderzusetzen.

- *Kompatibilität*

Plattformen und Communities müssen die *technologische und rechtliche Kompatibilität* ihrer Inhalte sicherstellen. Auf diese Weise verschaffen sie ihren Nutzern größtmögliche Freiheit, was die Erstellung hochkomplexer Remixe begünstigt. Zwei Aspekte sind für tiefe Remixe von besonderer Bedeutung. Einerseits sind alle Designs auf Thingiverse im selben Dateiformat verfügbar. Dies bedeutet, dass alle Things technologisch kompatibel miteinander sind. Andererseits zwingt die Plattform ihre Nutzer auch, alle Designs unter offenen Lizenzen zu veröffentlichen. Dies wiederum stellt sicher, dass alle Designs aus rechtlicher Sicht remixt werden dürfen.

- *Unterschiedliche Nutzer, unterschiedliche Bedürfnisse*

Nutzer unterscheiden sich stark darin, wie sie das Remixen in ihrem kreativen Prozess einsetzen. Deshalb ist es nachvollziehbar, dass *unterschiedliche Nutzer unterschiedliche Bedürfnisse* haben. Während einige Nutzer bei sämtlichen Designs auf den Remix-Prozess setzen, gibt es andere Designer, die komplett davon Abstand nehmen. Die Designer und Entwickler von Plattformen müssen sich dieser Gegensätzlichkeit bewusst sein und Umgebungen schaffen, die beiden kreativen Stereotypen gerecht werden. Plattformen, die eine bestimmte

Nutzergruppe bevorzugen, laufen Gefahr, Nutzer mit einem abweichenden Arbeitsablauf zu entmutigen und schließlich gänzlich zu verlieren.

- *Beurteilung asymmetrischer Kooperationsergebnisse*

Der Wissensfluss infolge des Remixens bestehender Innovationen verläuft asymmetrisch zwischen den unterschiedlichen Kategorien der Plattform. Somit profitieren einige Kategorien mehr von diesen Kategorieübergängen als andere. Weil daraus resultierende Ungleichverteilungen schnell zu Unzufriedenheit führen können, ist es wichtig *asymmetrische Kooperationsergebnisse* entsprechend zu beurteilen. Es ist erstrebenswert eine solche Situation, die auch bei der Kooperation in Unternehmen auftreten kann, richtig einzuschätzen und Anreize und Reputationsmechanismen so anzupassen, dass Spender und Empfänger, denen die Ergebnisse unter Umständen leichter zuzuordnen sind, gerecht beurteilt werden.

Kreative Inhalte, wie sie heute vielfach in offenen Online-Communities erstellt, veröffentlicht und geteilt werden, spielen in unserem alltäglichen Leben eine immer wichtigere Rolle. Das Desktop-Betriebssystem Windows 10 beispielsweise bringt von Haus aus eine integrierte Applikation mit, die das Öffnen und Drucken von dreidimensionalen Designs unterstützt. Darüber hinaus hat Microsoft mit „Remix 3D“ selbst eine Online-Community ins Leben gerufen, die sich ausschließlich dem Remixen dreidimensionaler Designs widmet (Etherington, 2016). Thingiverse ist die größte Quelle für diese Designs. Die Konzeption und Entwicklung von Informationssystemen, die Nutzer in ihrer Kreativität bestmöglich unterstützen und fördern, wird deshalb immer mehr zu einer wichtigen Herausforderung der Wirtschaftsinformatik. Die Implikationen für die Praxis, die aus dieser explorativen Studie abgeleitet wurden, stellen diesbezüglich erste umsetzbare Ansatzpunkte für Praktiker dar. Dennoch besteht weiterhin Bedarf an künftiger Forschung, um zu verstehen, wie solche Plattformen designt werden müssen.

4.5.3 Einschränkungen und zukünftige Forschung

Die durchgeführte Untersuchung unterliegt einigen Einschränkungen. Zunächst stellt der Datensatz eine *Momentaufnahme* einer dynamischen Plattform dar, die zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommen wurde. Zu verschiedenen Aktivitäten und Ereignissen, wie beispielsweise der Veröffentlichung eines Designs, existieren

Zeitstempel, jedoch nicht zu allen. Zum Beispiel ist nicht bekannt, wann ein Download durchgeführt wurde. Aus diesem Grund ist es unter anderem nicht möglich, die Kausalität, die dazu führt, dass ein Remix erfolgreich wird, detailliert zu erklären. Zweitens bleibt festzuhalten, dass im Rahmen der Untersuchung *eine offene Online-Community* betrachtet wurde. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll und interessant, die Erkenntnisse und Ergebnisse anhand anderer Communities, aus anderen Kontexten und mit anderen Einsatzzwecken, zu überprüfen. Außerdem basiert die komplette Studie lediglich auf *Daten der Plattform selbst*. Bisher wurden keine Interviews oder Umfragen unter Designern durchgeführt, weshalb nur bedingt belastbare Aussagen zur Motivation, die den Aktivitäten jeweils zugrunde liegt, getroffen werden können. Ein Verständnis der Motivation könnte helfen offene Plattformen so zu gestalten, dass diese mehr Nutzer anziehen und halten können. Für die *Bestimmung der Komplexität* eines Remixes wurden Metadaten zur Abstammung und Anzahl der Elternteile herangezogen. Obwohl diese Klassifikation objektiv und replizierbar ist, existieren in der Praxis Fälle, in denen ein flacher Remix komplexer ist als ein tiefer Remix. Um diese speziellen Sonderfälle zu erkennen, ist zusätzlich eine manuelle Codierung aller Remix-Beziehungen notwendig.

Obwohl klar wird, dass das Remixen von Ideen ein mächtiges Werkzeug ist, um neue Lösungen in offenen Online-Communities zu entwickeln, wissen wir wenig darüber, was sich in anderen Kontexten und Umgebungen abspielt. Es ist wünschenswert, mehr über das Remixen als Kreativitätswerkzeug zu erfahren. Beispielsweise ist nicht bekannt, ob das, was hier im Kontext des Designens beobachtet werden konnte, auch direkt auf den Prozess der Ideenfindung transferiert werden kann. Dies hätte interessante Auswirkungen auf Unternehmen, weshalb insbesondere in diesem Bereich weitere Forschung notwendig ist. Das grundlegende Prinzip, das offene Online-Communities charakterisiert, ist der freie Austausch von Wissen. Auch innerhalb von Firmen hat sich gezeigt, dass die Einführung eines betrieblichen Vorschlagswesens oder von Ideenmärkten einen erfolgreichen Weg darstellt, um die Entwicklung neuer Ideen zu fördern (Van Dijk und Van den Ende, 2002; Soukhroukova et al., 2012). Diese Konzepte können sicherlich weiter verbesserte werden, wenn es Mitarbeitern, dem Prinzip offener Online-Communities folgend, erlaubt ist, die Ideen und Verbesserungsvorschläge der Kollegen zu remixen.

Zu remixen ist einer der fundamentalen Eckpfeiler offener Online-Plattformen und -Communities. Es ist zu hoffen, dass diese Forschungsarbeit mehr Wissenschaftler und

Praktiker anspricht sich mit dem Phänomen Remix auseinanderzusetzen. Nicht zuletzt ein besseres theoretisches Verständnis der Thematik trägt dazu bei, in Zukunft noch bessere Plattformen zu designen. Die vorliegende Studie hat vier unterschiedliche Aspekte des Remixens beleuchtet: die Bedeutung von Remixen auf Thingiverse (Abschnitt 4.4.1), den Prozess in Form verschiedener Muster (Abschnitt 4.4.2), die Plattform als Informationssystem (Abschnitt 4.4.3) und die Nutzerschaft der Plattform (Abschnitt 4.4.1). Es ist anzunehmen, dass diese Struktur auch für zukünftige Forschung herangezogen werden kann und bei der Beantwortung noch offener Fragen hilfreich ist: Warum kombinieren Nutzer auf eine bestimmte Art und Weise? Wie können Nutzer geschult werden, gezielt zu kombinieren? Welcher Zusammenhang besteht zwischen Remix-Mustern und dem Erfolg eines Designs? Welche Barrieren hemmen Nutzer zu remixen?

Remixen ist ein Thema von zunehmender Bedeutung – nicht nur innerhalb der Wirtschaftsinformatik. Aus diesem Grund bleibt zu hoffen, dass diese Arbeit andere motiviert, sich mit diesem gleichermaßen relevanten wie interessanten Thema auseinanderzusetzen.

Qualitative Analyse der Maker

„Creativity is just connecting things. When you ask creative people how they did something, they feel a little guilty because they didn't really do it, they just saw something.“

Steve Jobs

Die additive Fertigungstechnologie existiert bereits seit über drei Jahrzehnten und wird im professionellen, industriellen Kontext vorrangig zur Herstellung von Prototypen verwendet (Gebhardt, 2007). Im Zuge des Auslaufens des Patents für das FDM-Verfahren im Jahr 2009 sank der Preis für solche Anlagen gravierend. Gebrauchsfertige, kostengünstige 3D-Drucker sind heute für weniger als 500 € erhältlich (Wallich, 2010; Berger et al., 2013; Kietzmann et al., 2015). Bereits für unter 100 € können Bausätze für einfache, aber voll funktionsfähige Geräte erworben werden (Jackson, 2017; Knabel, 2017).

Bedingt durch den Preisverfall und die Miniaturisierung stiegen die Verkaufszahlen dieser einfach gehaltenen Geräte für den Heimgebrauch von nur 66 im Jahr 2007 auf insgesamt 278.385 verkaufte Einheiten im Jahr 2015 an (Mearian, 2016; Wohlers et al., 2016). Diese Entwicklung hat zu einem regelrechten Hype geführt, der zur Folge hatte, dass additive Fertigungsverfahren bis in die Massenmedien hinein diskutiert wurden und sogar von einer neuen industriellen Revolution die Rede war (Markillie, 2012; Schmid, 2013; D'Aveni, 2015; Schiffler, 2015). Die Prophezeiungen

einer „Demokratisierung der Produktion“, die jedermann eine unabhängige, ökonomische und individuelle Fertigung ermöglicht, verdeutlicht die hohen Erwartungen (Bull und Groves, 2009; Mota, 2011; Gershenfeld, 2012). Die Möglichkeiten und das Potential der großindustriellen Anlagensysteme wurden dabei direkt auf die simplen Desktop-3D-Drucker projiziert. Außer Acht gelassen wurde dabei, dass es sich um zwei völlig unterschiedliche Gruppen von Systemen und Nutzern handelt. So können die Geräte für den Heimgebrauch in puncto Qualität und Geschwindigkeit nicht mit professionellen Anlagen mithalten und sind darüber hinaus nur relativ schwer bedienbar (König, 2012; Horsch, 2013). Der Hype-Zyklus der additiven Fertigung (vgl. Abbildung 3.4) illustriert die Gegensätze und verdeutlicht die überzogenen Erwartungen, die schlicht nicht erfüllt werden können (Rivera und Van der Meulen, 2015).

Im Zuge der allgemeinen Enttäuschung wurde die Revolution „verschoben“ (Kühl, 2014; Holweg, 2015; Schlosser, 2016) oder gänzlich „abgeblasen“ (Kerkmann, 2013). Im Vergleich zu herkömmlichen, massenhaft produzierten Produkten sind die Stückzahlen der Objekte, die in Haushalten gedruckt werden, praktisch zu vernachlässigen. Aus diesem Grund wurde dem Phänomen einer demokratischen Produktion durch Privathaushalte kaum Beachtung geschenkt und dieses als Zukunftsvision abgetan (Berman, 2012; Zhai et al., 2014; Rayna und Striukova, 2016b). Keymolen (2016) beschreibt seine Analyse des Phänomens als generelle, spekulative, philosophische Perspektive. Auch Troxler und van Woensel (2016) bezeichnen die Produktion im eigenen Haushalt weiterhin als einen Trend, über dessen Auswirkungen nur Mutmaßungen getroffen werden können.

Aktuelle Veröffentlichungen zeigen, dass 3D-Druck im Heimgebrauch durchaus relevant ist (Oehlberg et al., 2015; Fordyce et al., 2016; Stanko, 2016; West und Kuk, 2016; Kyriakou et al., 2017). Entscheidend ist hierbei der Fokus der Forschung: Nicht die Fertigung und Technik stehen im Zentrum der Untersuchungen, sondern die Innovationsprozesse, die sich bei den Hobbyisten umfassend nachvollziehen lassen.

5.1 Forschungsziel und -beitrag

In Bezug auf den Desktop-3D-Druck existieren vorrangig quantitative Studien, die sich beispielsweise mit der Frage auseinandersetzen, wieso bestimmte Modelle häufiger wiederverwendet werden (Stanko, 2016). Auch Kyriakou et al. (2017) widmen sich der

Wiederverwendung von Modellen und untersuchen die Bedeutung von anpassbaren Metamodellen. Trotz der offensichtlichen Relevanz wurden die Personen, die den Desktop-3D-Druck tragen und vorantreiben – Designer, die ihre Modelle unter offenen Lizenzen zur Verfügung stellen – bei der Analyse bisher weitestgehend vernachlässigt (Troxler, 2010).

Um die bisherigen quantitativen Ergebnisse zu evaluieren und zu erweitern, wurden deshalb Interviews mit mehr als 75 Thingiverse-Designern durchgeführt. Das Ziel der Untersuchung besteht in der qualitativen Evaluation der Innovationsprozesse, die sich in offenen, nicht-kommerziellen Plattformen abspielen. Der Forschungsbeitrag besteht in erster Linie darin, dass insgesamt *sechs* unterschiedliche Remix-Prozesse identifiziert wurden, die sich deutlich voneinander unterscheiden. Dieses Ergebnis erweitert die bisherige Theorie, in der lediglich *ein* mehrstufiger Prozess beschrieben wird. Erstmals wird detailliert erläutert, welche Prozesse ablaufen, wenn Endkunden eigene, individuelle Lösungen entwickeln.

Im nachfolgenden Abschnitt werden theoretische Grundlagen mithilfe einer Literaturanalyse erläutert. Nach dem Darlegen der Forschungsmethodik werden die Ergebnisse der Studie vorgestellt. Abschließend werden verschiedene Implikationen für Forschung und Praxis erläutert.

5.2 Literaturanalyse

Die Literaturanalyse geht zunächst der Frage nach, warum Nutzer ein Bedürfnis nach individuellen Lösungen haben und wieso die von ihnen entworfenen Lösungen in aller Regel nicht für die massenhafte Produktion geeignet sind. Mit der additiven Fertigung haben diese Nutzer erstmals die Möglichkeit komplexe, physische Dinge automatisiert zu fertigen und somit ihre Ideen in die Tat umzusetzen (Shewbridge et al., 2014).

Grundlage für jedes additiv gefertigte physische Objekt ist ein digitales, dreidimensionales Modell (vgl. Abschnitt 2.1). Da bereits zahlreiche Online-Plattformen im Internet existieren, auf denen Modelle frei zur Verfügung gestellt werden, haben Nutzer neben dem originären Designen zwei weitere Möglichkeiten an ein Modell zu gelangen. Sie können bestehende Modelle herunterladen und direkt kopieren oder an eigene Vorstellungen anpassen. Die Ergebnisse der quantitativen Studie in Kapitel 4 zeigen, dass die Möglichkeit der Anpassung – Remixe – eine bedeutende

Innovationsquelle in offenen Online-Communities darstellt (vgl. Abschnitt 4.4.1). Diese Distribution der Ideen in Form digitaler Modelle spielt für die Innovationen in Haushalten eine entscheidende Rolle, denn erst die Möglichkeit, bestehende Modelle wiederzuverwenden und zu remixen, macht diese Form der Produktion für Hobbyisten flexibel und effizient.

5.2.1 Nutzer-Innovationen

Sofern die am Markt verfügbaren Produkte nicht den Bedürfnissen eines Nutzers entsprechen oder keine adäquaten Lösungen vorhanden sind, tendiert der Nutzer dazu, selbst individuelle Lösungen hervorzubringen (von Hippel, 1986; Bogers et al., 2010; Hyysalo et al., 2013; Hyysalo und Usenyuk, 2015). Neben einem konkreten Problem existiert ein weiterer Auslöser, der insbesondere in informellen, persönlichen Innovationsprozessen gefunden werden kann (von Hippel und von Krogh, 2016). In dem beschriebenen Fall, werden die Lösung und das entsprechende Bedürfnis quasi gleichzeitig entdeckt. Dieses Phänomen bzw. Zusammentreffen wird als „need–solution pair“ bezeichnet (von Hippel und von Krogh, 2016, S. 207).

Studien belegen, dass eine Vielzahl von Verbrauchern für den privaten Gebrauch und ohne Vermarktungsabsichten bestehende Lösungen verbessert oder eigene Lösungen entwickelt (Lüthje, 2004; von Hippel et al., 2011, 2012; Hienert et al., 2014). Nutzer, die selbst Lösungen generieren, sind der jeweiligen Problemdomäne oft eng verbunden und erwarten durch ihre Lösung einen hohen Nutzen (Lüthje, 2004). Aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten einzelner Nutzer besetzen diese vor allem Innovationsnischen, in denen Lösungen kostengünstig umgesetzt werden können (von Hippel, 2005). Die durch die Nutzer erzielten Verbesserungen sind dabei utilitaristischer oder hedonistischer Natur (Lüthje, 2004).

Repräsentative Studien belegen, dass Verbraucher eine bedeutende Quelle neuer Innovationen sind (von Hippel et al., 2011, 2012). In Großbritannien liegen die geschätzten Aufwendungen der Endkunden für „Forschung und Entwicklung“ bei ca. 3,2 Milliarden Pfund Sterling und übersteigen damit die Ausgaben der Unternehmen in Höhe von 2,2 Milliarden Pfund Sterling deutlich (von Hippel et al., 2011, 2012).

Obwohl die von Nutzern entworfenen Lösungen durchaus durch Ideenreichtum und Diffusionspotential überzeugen können, sind diese oftmals nicht für eine massenhafte Fertigung geeignet (Hyysalo et al., 2013). Hierfür gibt es zwei Hauptgründe: das eigentliche Problem und die Lösung. Einerseits betrifft das adressierte Problem häufig

nur wenige andere Nutzer. Andererseits kombiniert die erdachte Lösung vielfach verschiedene Technologien in einer Art und Weise, die kommerziellen Anbietern nicht zusagt oder von diesen nicht umgesetzt werden kann (Hyysalo et al., 2013).

5.2.2 Community-Innovationen

Haben mehrere Nutzer Interesse an der Lösung eines bestimmten Problemtyps, so bilden sich spezialisierte Communities aus. Beispielsweise konnten Hyysalo et al. (2013) insgesamt 192 Erfindungen innerhalb finnischsprachiger Online-Communities zu Wärmepumpen und Pelletheizungen identifizieren, die die Effizienz, Wartung, Gebrauchstauglichkeit oder Kosten der Systeme nachweislich verbesserten. Zahlreiche Studien verschiedener Autoren existieren zu den Innovationsbemühungen von Nutzern in Sport-Communities. In diesen tauschen sich Nutzer über eigene Erfindungen und Verbesserung rund um Sportequipment aus (Franke und Shah, 2003: Segelfliegen, Canyoning, Snowboarden, Fahrradfahren; Lühje, 2004: Klettern, Wandern, Skifahren, Mountainbiken; Lühje et al., 2005: Mountainbiken; Baldwin et al., 2006: Kajakfahren; Raasch et al., 2008: Segeln). Untersuchungen belegen den hohen Grad der Nutzeraktivität in dieser Domäne sowie die Bereitschaft vorhandenes Wissen und Ideen auszutauschen (Franke und Shah, 2003; Hienert, 2006; Raasch et al., 2008). Bei einer Befragung unter Seglern weisen Franke und Shah (2003) nach, dass 80 % der Befragten ihr Wissen mit direkten Konkurrenten teilen würden. Die dabei zugrunde liegenden Motivationsprozesse sind denen in anderen sozialen Communities ähnlich, beispielsweise in Open-Source-Softwareprojekten (Hars und Ou, 2002; Franke und Shah, 2003; Hertel et al., 2003; Raasch et al., 2008; Sojer und Henkel, 2010; von Krogh et al., 2012). Grundsätzlich lassen sich die jeweiligen Beweggründe für den freien Wissensaustausch nach der Form der Motivation in intrinsische und extrinsische untergliedern (Franke und Shah, 2003; Raasch et al., 2008; Leimeister et al., 2009; von Krogh et al., 2012). Hierzu gehören beispielsweise die Freude am Helfen (intrinsisch) oder auch allgemeines Interesse am Fortschritt und Ansehen der Community (extrinsisch) (Franke und Shah, 2003; Raasch et al., 2008). Die Mitglieder solcher offenen Communities investieren in Summe ein Vielfaches mehr an Zeit in die Lösung von Problem als kommerzielle Unternehmen (Raymond, 1999).

5.2.3 3D-Druck im Heimgebrauch

Begünstigt durch sinkende Kosten und eine breite Verfügbarkeit ermöglicht die IT im Allgemeinen und das Internet im Speziellen völlig neue Formen der Kreativität und damit auch der digitalen Produktion. Zu den bekanntesten Produkten zählt insbesondere Software, aber auch jegliche andere Art von Informationen (Moglen, 1999; Kostakis, 2013). Das Verhältnis der Nutzer zur Technologie hat sich hierdurch stark verändert. Aus einfachen Endkunden bzw. Nutzern sind „Maker“ geworden, die Technologie eigenständig an ihre Bedürfnisse anpassen und in das eigene Leben integrieren (Dougherty, 2005; Tanenbaum et al., 2013). Benkler (2002) erkennt und beschreibt das Phänomen einer gleichberechtigten, verteilten digitalen Produktion, die er „Commons-based Peer Production (CBPP)“ nennt. Dieses sozioökonomische System der Produktion ist vor allem durch die Kollaboration der Nutzer gekennzeichnet, die auf ein gemeinsames Ziel hinarbeiten (Benkler und Nissenbaum, 2006). Typische Beispiele für CBPP finden sich in Open-Source-Software, wie Linux oder Wikipedia (Benkler und Nissenbaum, 2006).

Im Zuge des Auslaufens des Patents für den FDM-Prozess im Jahr 2009 kamen erstmals kostengünstige Desktop-3D-Drucker auf den Markt (vgl. Abschnitt 2.3.4). Infolgedessen stieg die Anzahl der verkauften Geräte deutlich (vgl. Abschnitt 3.1.1). Mittlerweile stehen Endkunden nicht mehr nur einfache Fertigungsanlagen für den Heimgebrauch zur Verfügung. Druck-Dienstleister stellen eine kostengünstige Möglichkeit dar, eigene Designs auf professionellen, industriellen Fertigungsanlagen produzieren zu lassen (vgl. Abschnitt 3.2.2.3 und 3.4.1). Darüber hinaus existiert seit 2013 mit „3D Hubs“ ein neuer Intermediär, dessen Geschäftsmodell auf dezentral verteilten Desktop-3D-Druckern von Privatpersonen beruht. Zur Community zählen mittlerweile mehr als 32.000 3D-Drucker in über 150 Ländern, die ca. 40.000 Fertigungsaufträge pro Monat leisten (vgl. Abschnitt 3.4.1.2). Infolgedessen ist erstmals eine CBPP physischer Güter möglich (Troxler, 2010; Powell, 2012). Dies hat zur Folge, dass die Hürden, die zwischen einer kreativen Idee und der professionellen Produktion liegen, deutlich reduziert werden (Ihl und Piller, 2016).

Aufgrund des damit verbundenen Paradigmenwechsels im Prozess der Produktentstehung (Gebhardt, 2014; Mohajeri et al., 2016), der es jedem Einzelnen ermöglicht, physische Objekte nach den eigenen Vorstellungen und Ideen effizient fertigen zu lassen (Fastermann, 2012; Troxler und van Woensel, 2016), sprechen verschiedene Forscher von einer „*Demokratisierung der Produktion*“ (Bull und Groves, 2009; Mota,

2011; Gershenfeld, 2012; de Bruijn und de Jong, 2013; Cole, 2015; Ihl und Piller, 2016). Historisch gesehen, beschreibt die demokratische Produktion das Ergebnis einer andauernden digitalen Revolution, die nach Kommunikation und Datenverarbeitung nun die Fabrikation erreicht hat (Bull und Groves, 2009; Troxler, 2010; Brooks, 2012). Noch bis ins Jahr 2007 ist es für einzelne Nutzer äußerst schwer gewesen, eigene Ideen in Form physischer Produkte umzusetzen (Mota, 2011). Erste Anzeichen für eine Produktion im eigenen Haushalt verdichten sich zu dieser Zeit in Form der aufkommenden Makerbewegung (Mota, 2011; Anderson, 2012; Dougherty, 2012; Gershenfeld, 2012). Die Maker wiederum können der umfassenderen, vor allem im 21. Jahrhundert verstärkt wahrnehmbaren, Do-It-Yourself-Kultur zugeordnet werden (Mota, 2011). Die Gruppe der Maker zeichnet sich dabei vor allem durch die Kombination und Integration von on- und offline Technologien aus (Dougherty, 2005; Mota, 2011; Tanenbaum et al., 2013). In Summe hat dies dazu geführt, dass eine automatisierte Fertigung heute prinzipiell für jedermann im Heimgebrauch möglich ist (Wohlers, 2011; Friesike et al., 2014; Gebhardt, 2014; Shewbridge et al., 2014; Thompson et al., 2016; Keymolen, 2016; Rayna und Striukova, 2016b). Im Zentrum dieser persönlichen, dezentralen Haushaltsproduktion steht die additive Fertigung, die als Alternative zur traditionellen Massenfertigung propagiert wird (Seravalli, 2011; Tanenbaum et al., 2013; Gershenfeld, 2005; Cole, 2015; Mohajeri et al., 2016). Im Gegensatz zu Effektivität und Skaleneffekten steht hier die flexible Produktion und individueller Produkte in kleinen Stückzahlen im Vordergrund (Cole, 2015; Bogers et al., 2016). Neben dem preiswerten Zugang zur Technologie basiert der 3D-Druck der Hobbyisten auf zwei weiteren Voraussetzungen: Designvorlagen und Softwareunterstützung (Thilmany, 2009; Troxler, 2010; Mota, 2011; Tanenbaum et al., 2013; Fastermann, 2014; Thompson et al., 2016). Abbildung 5.1 veranschaulicht diese grundlegenden Voraussetzungen.

CAD-Software zum rechnerunterstützten Konstruieren dreidimensionaler Objekte richtet sich traditionell an Ingenieure mit entsprechender Ausbildung (Pahl, 1990; Knoppers und Hague, 2006; Vajna et al., 2009). Erst die Verfügbarkeit kostenfreier und intuitiv bedienbarer CAD-Software ermöglichte interessierten Nutzern selbst eigene Designs zu erstellen (Thilmany, 2009; Mota, 2011; Horsch, 2013; Fastermann, 2014). Das spezifische Know-how, das zur Konstruktion und Modellierung druckbarer dreidimensionaler Inhalte nötig ist, beschränkte den Kreis der Produzenten zunächst. Aus diesem Grund sind zahlreiche Modellkataloge entstanden, die 3D-Modelle

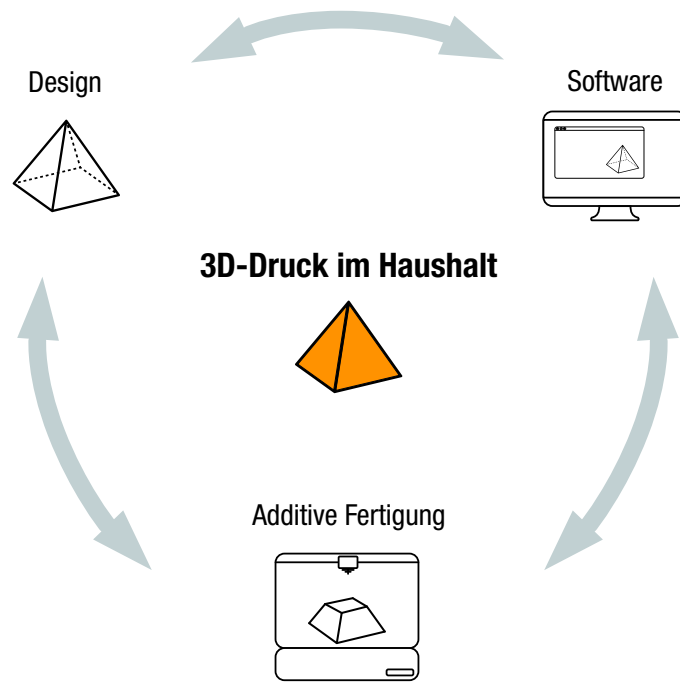
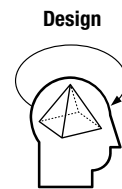


Abbildung 5.1: Voraussetzungen des 3D-Drucks im Haushalt: Design, Software, Additive Fertigung.

anbieten (vgl. Abschnitt 3.2.2.2). Den Grundsätzen der Makerbewegung folgend, sind hier insbesondere Online-Plattformen von Bedeutung, auf denen Modelle geteilt werden (Troxler, 2010; Mota, 2011; Thompson et al., 2016). Bekanntester Vertreter im Bereich nicht-kommerzieller Designs für den 3D-Druck ist die Plattform Thingiverse (Baichtal, 2008; Evans, 2012; Horsch, 2013; Nitz, 2014; Alcock et al., 2016; West und Kuk, 2016). Die Modelle werden meist von privaten Designern erstellt und als STL-Dateien auf der Plattform veröffentlicht (vgl. Abschnitt 3.4.2). In Summe besitzt ein Nutzer somit drei unterschiedliche Möglichkeiten, um an ein „3D-Modell – die unverzichtbare Grundlage“ (Horsch, 2013, S. 51) des 3D-Drucks zu gelangen:

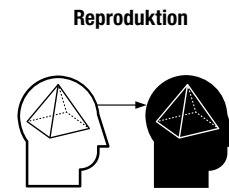
1. *Design*

Nutzer mit den erforderlichen Fähigkeiten bzw. dem nötigen Know-how können ihre Ideen und Lösungen mithilfe freier Software eigenständig in dreidimensionale Modelle überführen und anschließend fertigen.



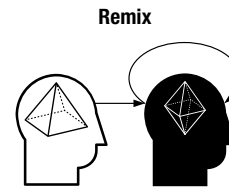
2. *Reproduktion*

Online-Plattformen und -Communities stellen kostenfrei Modelle anderer Designer zur Verfügung. So ist es einfach und schnell möglich, ein bestehendes Design zu kopieren und zu fertigen.



3. *Remix*

Bestehende Modelle können zu etwas Neuem transformiert oder kombiniert werden. So kann ein bereits vorhandenes Design mit relativ wenig Aufwand an die eigenen Zielvorstellungen angepasst werden. Das Ergebnis des Prozesses wird als Remix bezeichnet.



Beim originären Designen können zwar hochgradig angepasste Modelle erzeugt werden, jedoch besteht der Nachteil, dass hierzu ein relativ hoher Aufwand und spezifisches Know-how vorhanden sein muss. Im Gegensatz hierzu können durch Reproduktion bereits vorhandene Designs effizient kopiert werden. Das Potential der Fertigung im Haushalt – individuelle, personalisierte Lösungen (Gershenfeld, 2005, 2012; Zhai et al., 2014; Cole, 2015; Ihl und Piller, 2016) – bleibt dabei jedoch auf der Strecke. Die Möglichkeit zu remixen, stellt hier einen vielversprechenden Kompromiss dar, da Nutzer im Vergleich zu den anderen beiden Optionen ihre individuellen Ideen relativ effizient in die Tat umsetzen können (Ihl und Piller, 2016; Keymolen, 2016; Mohajeri et al., 2016). Der Remix senkt also eine Barriere im kreativen Schaffens- bzw. Innovationsprozess und erweitert den Kreis potentieller Designer und Produzenten (Stalder, 2009). Bin Maidin et al. (2012) beschreiben diesen Remix-Prozess deshalb als inspirierend, nützlich, relevant und hilfreich. Die Bedeutung wurde nun erstmals mithilfe der im vorigen Kapitel durchgeführten Studie quantitativ nachgewiesen. So sind mehr als die Hälfte, der auf der Online-Plattform und -Community Thingiverse verfügbaren Designs, Remixe (vgl. Abschnitt 4.4.1).

5.2.4 Knowledge Reuse

Die beiden beschriebenen Möglichkeiten Reproduktion und Remix haben gemein, dass sie auf vorhandenes Wissen zurückgreifen, um Neues zu erzeugen. In der Literatur wird dieses Konzept als „*knowledge reuse*“ bezeichnet (Alavi und Leidner, 2001; Markus, 2001; Majchrzak et al., 2004). In der Theorie werden bisher, abhängig

von der Zielsetzung, drei grundlegende Prozesse des „knowledge reuse“ unterschieden (Majchrzak et al., 2004; Kyriakou et al., 2017):

1. *Knowledge Reuse for Replication (KRR)*

Die Wiederverwendung zur Replikation beschreibt einen Prozess bei dem bestehendes Wissen bzw. Informationen ohne weitere Veränderungen erneut genutzt werden (Majchrzak et al., 2004). Im Falle der 3D-Druck-Hobbyisten beschreibt dies demnach den Prozess, ein vorhandenes Modell, ohne Anpassungen, erneut zu fertigen.

2. *Knowledge Reuse for Customization (KRC)*

Ist das vorhandene Wissen so konzipiert, dass es anhand bestimmter Parameter angepasst werden kann, so wird der zugrunde liegende Reuse-Prozess als Customization bezeichnet (Kyriakou et al., 2017). Das vorhandene Wissen liegt hier in Form von Metamodellen vor. Das Pendant auf der Plattform Thingiverse sind die Customizer.

3. *Knowledge Reuse for Innovation (KRI)*

Wird bestehendes Wissen transferiert, integriert oder kombiniert, handelt es sich um einen Prozess der Wiederverwendung zur Innovation (Majchrzak et al., 2004). Der Prozess ermöglicht Neuheiten, die in ihrer Komplexität über eine einfache Anpassung hinausgehen und wird auch von Nutzern offener Plattformen häufig angewandt.

Der KRI-Prozess beschreibt einen Vorgang bzw. Mechanismus, in dessen Verlauf Bestehendes genutzt wird, um etwas Neues zu erschaffen. Nach Majchrzak et al. (2004) besteht ein solcher „Wiederverwendungs-Innovationsprozess“ aus drei Hauptaktivitäten: (1) Neukonzeptionierung des Problems sowie Entscheidung für die Suche nach wiederverwendbaren Ideen, (2) Evaluation potentieller Ideen und (3) Implementation der ausgewählten Idee. Die Autoren beschreiben beispielsweise ein Projekt, in dem ein Rasterkraftmikroskop, wie es heute bereits vielfach in der Halbleiterindustrie zur Begutachtung der Oberflächengüte eingesetzt wird, wiederverwendet und angepasst wird, um damit Marspartikel zu untersuchen. Dieser Prozess der Wiederverwendung und Innovation wird von Makern als *Remix* bezeichnet (Anderson, 2012; Gunkel, 2016).

Generell lassen sich in der gegenwärtigen DIY-Bewegung utilitaristische und hedonistische Beweggründe identifizieren (Hertz, 2011; Powell, 2012). Auch der

Output von Remix-Prozessen wird teils als hedonistisch und verspielt (Troxler und van Woensel, 2016), teils als formschön, attraktiv und überaus nützlich beschrieben (Anderson, 2012; Oehlberg et al., 2015). Shewbridge et al. (2014), die potentielle Anwendungsfälle und Nutzungsmöglichkeiten von Desktop-3D-Druckern in zehn Haushalten untersucht haben, betonen, dass beide Szenarien relevant sind – sowohl die spielerisch kreative als auch die zweckorientierte Nutzung. Eine weitere Erkenntnis der Studie besteht darin, dass die Möglichkeit der Wiederverwendung auch deshalb relevant ist, weil sie von unerfahrenen Designer genutzt werden kann (Shewbridge et al., 2014). All dies deutet daraufhin, dass nicht ein genereller, sondern diverse unterschiedliche Remix-Prozesse existieren und sich infolgedessen auch der allgemeine KRI-Prozess aufschlüsseln und segmentieren lässt.

5.2.5 Synthese der Literaturanalyse

Die zuvor beschriebenen, teils isolierten Forschungsbereiche werden im Folgenden zusammengeführt, um den Rahmen dieser abschließenden Untersuchung zu bilden. Abbildung 5.2 veranschaulicht diese Synthese der Literaturanalyse und skizziert damit den Kontext dieses Kapitels.

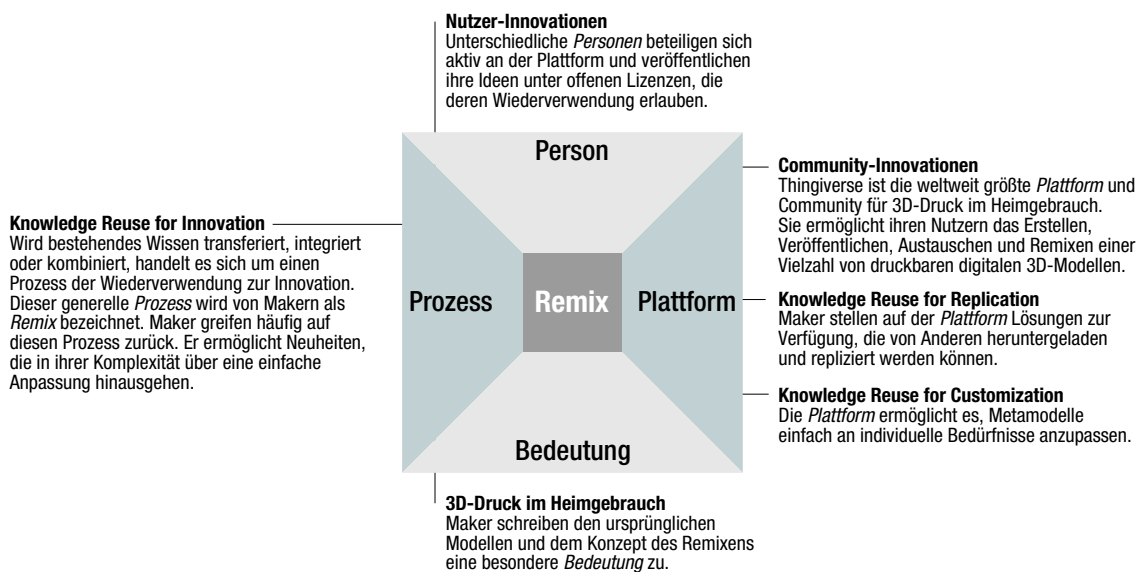


Abbildung 5.2: Kontext der Untersuchung aus der Synthese der Literaturanalyse.

Wenn am Markt verfügbare Produkte die Bedürfnisse von einzelnen *Personen* nicht erfüllen können, so gehen diese dazu über, selbst Innovationen hervorzubringen (von Hippel, 1986; Bogers et al., 2010; Hyysalo et al., 2013; Hyysalo und Usenyuk,

2015). Dieser Innovationstyp ist als Nutzer-Innovation bekannt. Auslöser hierfür ist oft ein konkretes Problem, es besteht aber auch die Möglichkeit, dass eine gefundene Lösung einen Nutzer erst auf ein Bedürfnis aufmerksam macht (von Hippel und von Krogh, 2016).

Auf der *Plattform* Thingiverse stellen Maker ihre Nutzer-Innovationen in Form dreidimensionaler Modelle zur Verfügung (West und Kuk, 2016). Diese Modelle stehen unter offenen Lizenzen, die die Wiederverwendung explizit einschließen. Alle Modelle liegen zudem in zwei offenen Dateiformaten vor, was eine technologische Kompatibilität sicherstellt. Thingiverse aggregiert die einzelnen Nutzer-Innovationen und hat so eine Community für Maker, bzw. den 3D-Druck im Heimgebrauch, geschaffen. Maker profitieren von dieser Community, da sie ihnen die Möglichkeit gibt, auf vorhandenes Wissen zurückzugreifen und dieses an eigene Bedürfnisse anzupassen. Verändern Maker bestehendes Wissen, so wird diese Veränderung als Remix bezeichnet (Anderson, 2012; Gunkel, 2016).

Der *Remix-Prozess* beschreibt den Transfer, die Integration oder die Kombination von bestehendem Wissen KRI (Majchrzak et al., 2004). Da der *Prozess* neue Modelle möglich macht, die in ihrer Komplexität über eine einfache Anpassung hinausgehen, wird er von Makern häufig eingesetzt. Sie honorieren die ursprünglichen Modelle durch Verknüpfungen auf der Plattform. Dem Konzept des Remixens wird eine besondere *Bedeutung* zugesprochen.

Zudem besteht die Möglichkeit, dass Personen vorhandenes Wissen bzw. Modelle direkt replizieren (Majchrzak et al., 2004). Dies wird als Knowledge Reuse for Replication bezeichnet und tritt auf, wenn eine Lösung auch das Problem eines anderen Makers adressiert, oder wenn jemand nicht die erforderlichen technischen Fähigkeiten mitbringt, eigenständig dreidimensionale Modelle zu konstruieren. Es beschreibt demnach den Prozess, ein vorhandenes Modell, ohne Anpassungen, erneut zu fertigen.

Die *Plattform* Thingiverse bietet darüber hinaus die Möglichkeit, Metamodelle anhand bestimmter Parameter an individuelle Bedürfnisse anzupassen. Diese werden als Customizer bezeichnet, die so entstehenden Remixe unterscheiden sich nur bedingt voneinander. Der zugrunde liegende Reuse-Prozess wird als Customization bezeichnet KRC (Kyriakou et al., 2017).

Aus der Synthese wird deutlich, dass die vier identifizierten Remix-Forschungsfelder (Bedeutung, Prozess, Plattform, Person) (vgl. Abschnitt 4.2) auch bei der qualitativen Analyse der Maker relevant sind. Im nachfolgenden Abschnitt wird die Forschungsmethodik vorgestellt und erläutert, wie die vier Felder im Rahmen der Befragung berücksichtigt wurden.

5.3 Methodik

In Bezug auf die Forschungsmethodik unterscheidet man grundsätzlich zwei verschiedene Ansätze: quantitativ und qualitativ (Creswell, 2014; Neuman, 2014; Döring und Bortz, 2016). Hierbei ist zu betonen, dass die beiden Ansätze keineswegs in Konkurrenz zueinander stehen, sondern sich gegenseitig ergänzen (Kaplan und Duchon, 1988; Myers, 1997; Neuman, 2014; Döring und Bortz, 2016; Lune und Berg, 2017). Beide Ansätze basieren auf wissenschaftlichen Grundsätzen, unterscheiden sich jedoch auch signifikant voneinander, wie aus der Gegenüberstellung in Tabelle 5.1 hervorgeht (Neuman, 2014).

Tabelle 5.1: Quantitativer und qualitativer Forschungsansatz im Vergleich (Neuman, 2014).

Quantitativer Ansatz	Qualitativer Ansatz
Messung objektiver Fakten	Auslegung sozialer Realität
Fokus auf Variablen	Fokus auf interaktive Prozesse und Ereignisse
Reliabilität als Schlüsselfaktor	Authentizität als Schlüsselfaktor
Frei von Wertung	Wertung expliziter Bestandteil
Theorie und Daten getrennt	Theorie und Daten verbunden
Kontextunabhängig	Situationsbedingt
Viele Fälle	Wenige Fälle
Statistische Analyse	Thematische Analyse
Forscher unbeteiligt	Forscher involviert

Für die angestrebte Untersuchung der Ansichten, des Verhaltens und insbesondere der Remix-Prozesse der Designer, die im Haushalt additiv fertigen, erscheint ein qualitatives Vorgehen sinnvoll, das die Erkenntnisse aus Kapitel 4 ergänzt. Qualitative Studien haben den Vorteil, dass Deutungs- und Handlungsmuster sowie Prozesslogiken besser nachvollzogen werden können (Cassell und Symon, 2006; Creswell, 2009; King, 2006; Brüsemeister, 2008). Insbesondere der Mensch – seine Sichtweise

auf einen bestimmten Sachverhalt, individuelle Bedeutungszusammenhänge sowie Handlungsmotive – steht hierbei im Vordergrund (King, 2006; Gläser-Zikuda, 2015; Tracy, 2013; Lune und Berg, 2017).

5.3.1 Interviews

Die Grundlage jeder qualitativen Untersuchung bilden qualitative Daten. Hierzu gehören beispielsweise Fotos, Landkarten, Beobachtungen oder jegliche Art von Dokumenten (Creswell, 2009; Saldaña, 2009; Bazeley und Jackson, 2013; Neuman, 2014). Die am häufigsten eingesetzte Methode zur Erhebung von Daten ist die Befragung bzw. das Interview (King, 2006; Myers und Newman, 2007; Mayer, 2013; Döring und Bortz, 2016). Die Stärken von Interviews liegen vor allem im zielgerichteten Fokus und im Erkenntnisreichtum (Kvale, 1983; Yin, 2003; King und Horrocks, 2010). Döring und Bortz (2016) heben darüber hinaus hervor, dass auch Ereignisse und Verhaltensweisen, die sich nicht direkt beobachten lassen, durch ein Interview erfasst werden können. Interviews stellen eine „alltagsnahe Methode“ (Döring und Bortz, 2016, S. 356) dar, die es erlaubt, in relativ kurzer Zeit viele Informationen zu sammeln (Tracy, 2013; Silverman, 2016; Lune und Berg, 2017). Nicht zuletzt deshalb zählt die Durchführung von Interviews auch in der Wirtschaftsinformatik zu häufig eingesetzten Methoden (Kaplan und Duchon, 1988; Palvia et al., 2004; Myers und Newman, 2007; Schultze und Avital, 2011). Wilde und Hess (2007) beschreiben die Methode aus Sicht des erzielten Ergebnisses. Die hier durchgeführte einmalige Befragung mehrerer Individuen liefert letztendlich eine qualitative Momentaufnahme der Teilnehmer und wird als „qualitative Querschnittanalyse“ (Wilde und Hess, 2007, S. 282) bezeichnet. Sowohl Myers und Newman (2007) als auch Schultze und Avital (2011) kritisieren einen grundsätzlichen Mangel an Informationen zum Prozess und der Methodik bei der Durchführung von Interviews in Publikationen auf dem Gebiet der Wirtschaftsinformatik. Aus diesem Grund wird nachfolgend detailliert auf die durchgeführte Befragung eingegangen.

Um Interviews zu klassifizieren, wird in aller Regel zunächst der Grad der Strukturierung herangezogen. Unterschieden werden kann hierbei zwischen unstrukturierten, semistrukturierten und strukturierten Interviews (Paré, 2004; DiCicco-Bloom und Crabtree, 2006; King, 2006; Myers und Newman, 2007; Döring und Bortz, 2016). Die Vielzahl unterschiedlicher Interviewvarianten, kann durch dieses eine Kriterium jedoch nur bedingt abgebildet werden (Fontana und Frey, 2003; King, 2006; Kvale,

2007; Tracy, 2013). Aus diesem Grund empfehlen Döring und Bortz (2016) für die Forschungspraxis eine Klassifikation anhand von sechs Kriterien. Tabelle 5.2 listet diese für wissenschaftliche Interviews relevanten Klassifikationskriterien und typische Ausprägungen auf. Die für die durchgeführte Studie relevanten Ausprägungen sind jeweils hervorgehoben.

Tabelle 5.2: Die sechs wichtigsten Klassifikationskriterien für wissenschaftliche Interviews (Döring und Bortz, 2016).

Klassifikationskriterium	Typische Ausprägungen
Grad der Strukturierung der Interviewsituation	unstrukturiert
	semistrukturiert
	strukturiert
Anzahl der gleichzeitig interviewten Personen	Einzelinterview
	Paar- oder Gruppenbefragung
	Fokusgruppen-Diskussion
Art des Interviewkontakts	persönliches bzw. direktes Interview
	Telefoninterview
	Online-Interview
Anzahl der Interviewenden	ein Interviewer (herkömmliches Interview)
	zwei Interviewer (Tandem-Interview)
	mehr als zwei Interviewer (Board-Interview)
Art der Befragungspersonen	Experten-Interview
	Laien- bzw. Betroffenen-Interview
Art der Interviewtechnik	unstrukturiert: narrativ, ethnografisch
	semistrukturiert: problemzentriert, fokussiert

Im Gegensatz zum unstrukturierten Interview, bei dem sich die Befragten völlig frei äußern, basieren die in der vorliegenden Studie genutzten halb- bzw. *semistrukturierten* Interviews auf einem Interview-Leitfaden. Hierbei handelt es sich um einen Katalog offener Fragen, die in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet sind (King und Horrocks, 2010; Tracy, 2013; Lune und Berg, 2017). Dies bietet den Vorteil, dass der Interviewende, je nach Situation, in die Befragung eingreifen und beispielsweise bestimmte Fragen vertiefen kann (Myers und Newman, 2007; Mayer, 2013; Döring und Bortz, 2016). Das typische Vorgehen zur Dokumentation semistrukturierter Interviews umfasst eine Aufzeichnung des Tons, die anschließend verschriftlicht wird (Kvale, 1983; King und Horrocks, 2010; Lune und Berg, 2017).

In Bezug auf die Anzahl der gleichzeitig involvierten Interviewten ist die am häufigsten praktizierte Form des Interviews das sogenannte *Einzelinterview*. Dies bedeutet, dass ein oder mehrere Interviewer genau eine andere Person befragen (Mayer, 2013; Döring und Bortz, 2016; Tracy, 2013).

Der Interviewmodus bezeichnet die Art des Kontakts bzw. das Medium über das das Interview durchgeführt wird. Um einerseits den persönlichen Kontakt zu den befragten Designern sicherzustellen und andererseits Zeit- und Kostenaspekten gerecht zu werden, wurden *Online-Interviews* durchgeführt (Mayer, 2013; Misoch, 2015; Döring und Bortz, 2016; Silverman, 2016; Lune und Berg, 2017).

Wird die Befragung durch einen Interviewenden durchgeführt, spricht man von einem *herkömmlichen Interview*. Befragungen durch mehrere Personen werden in der Praxis äußerst selten eingesetzt, da sie einen hohen Aufwand erfordern und darüber hinaus den Interviewten verunsichern können. Dies kann sich unter Umständen negativ auf die Ergebnisse der Befragung auswirken (Döring und Bortz, 2016).

Interviews lassen sich außerdem nach der Art der befragten Personen klassifizieren. Unterschieden wird hierbei zwischen Experten-Interviews und *Laien- bzw. Betroffenen-Interviews* (Misoch, 2015; Döring und Bortz, 2016). In Bezug auf die durchgeführten Interviews mit Thingiverse-Nutzern ist der Übergang zwischen Laie und Experte nicht klar definiert. Da jedoch persönliche Erfahrungen und Ansichten im Vordergrund der Befragung stehen, werden die durchgeführten Interviews als Betroffenen-Interviews klassifiziert.

Das Kriterium der Interviewtechnik bietet sehr viele unterschiedliche Varianten. Die hier durchgeführten Interviews lassen sich als *Online-Leitfaden-Interviews* beschreiben. Diese bieten sich beispielsweise dann an, wenn Personen aus dem Internet-Kontext befragt werden sollen (King und Horrocks, 2010; Döring und Bortz, 2016; Markham und Stavrova, 2016; James und Busher, 2016).

5.3.1.1 Fallauswahl

Die Befragung aller interessanten Personen ist im Rahmen wissenschaftlicher Studien in aller Regel nicht möglich. Auch die Betrachtung eines Einzelfalles erscheint aufgrund möglicher Verzerrungseffekte wenig sinnvoll. Aus diesem Grund zieht man in der Praxis eine Auswahl verschiedener Fälle heran (Creswell, 2009; Lune und Berg, 2017). In Abgrenzung zur *Fallauswahl* in der qualitativen Forschung spricht man in der quantitativen Forschung von einer Stichprobenziehung (Döring und

Bortz, 2016). Solche Teilerhebungen lassen sich sowohl schneller durchführen als auch schneller auswerten, als die entsprechende Vollerhebung. Eine Fokussierung auf eine ausgewählte Anzahl von Fällen ermöglicht außerdem eine umfangreichere Analyse und infolgedessen differenziertere Ergebnisse (DiCicco-Bloom und Crabtree, 2006; Mayer, 2013; Morris, 2015; Döring und Bortz, 2016).

Bei der Art der Stichprobe handelt es sich um eine nicht-zufällige, *bewusste bzw. absichtsvolle Auswahl* (Creswell, 2009; Tracy, 2013; Döring und Bortz, 2016; Lune und Berg, 2017), da für die Befragungen gezielt Designer ausgewählt wurden, die zwei Kriterien erfüllen: Zum einen sollten die befragten Designer innerhalb der letzten drei Monate auf der Plattform aktiv gewesen sein. Zum anderen wurden nur Designer kontaktiert, die mindestens einen Remix veröffentlicht haben. Auf diese Weise wird sichergestellt, Fragestellungen zum Remixen und den zugrunde liegenden Prozessen, qualitativ evaluieren zu können.

Unter dem *Umfang* versteht man die Zahl der Fälle bzw. in diesem Fall die Anzahl der durchgeführten Interviews. Im Rahmen qualitativer Forschung werden so lange neue Fälle hinzugezogen, bis eine theoretische Sättigung erreicht ist (DiCicco-Bloom und Crabtree, 2006; Mayer, 2013; Misoch, 2015; Döring und Bortz, 2016). Ab diesem Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass weitere Fälle keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn mehr hervorbringen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden von Anfang November bis Ende Dezember 2015 insgesamt 78 Designer befragt.

5.3.1.2 Vorbereitung

Bei den durchgeführten Befragungen handelt es sich um *Online-Leitfaden-Interviews*. Instrument der eigentlichen Datenerhebung ist hierbei der *Interview-Leitfaden*, ein im Vorfeld festgelegter Fragenkatalog – Antwortvorgaben existieren indes nicht (Neuman, 2014; Silverman, 2016; Lune und Berg, 2017). Die Festlegung des Fragebogens bzw. Leitfadens stellt die inhaltliche Vergleichbarkeit der einzelnen Interviews sicher (King, 2006; Morris, 2015; Döring und Bortz, 2016).

Der Leitfaden der durchgeführten Interviews orientiert sich inhaltlich und thematisch an Kapitel 4. Sowohl die dort durchgeführte Literaturanalyse, bei der vier Remix-Forschungsfelder identifiziert wurden (vgl. Abschnitt 4.2) als auch die empirischen Ergebnisse der Analyse (vgl. Abschnitt 4.4) fließen in die Entwicklung des Leitfadens mit ein. Das Remixen stellt den thematischen Schwerpunkt des Leitfadens dar. Den Rahmen bilden die vier Felder Bedeutung, Prozess, Plattform und Person.

Ein Leitfaden-Interview besteht üblicherweise aus 8–15 Fragen (Gläser und Laudel, 2009; Döring und Bortz, 2016), die sich in einzelne Gruppen bzw. Themenblöcke untergliedern lassen. Der in der vorliegenden Studie eingesetzte Leitfaden ist in Tabelle 5.3 zu sehen.

Tabelle 5.3: Interview-Leitfaden unterteilt nach Themenblöcken.

Themenblock	Frage
Einstieg	Wie bist du zum 3D-Druck gekommen?
	Hast du einen 3D-Drucker zu Hause?
	Wann hast du damit begonnen Modelle zu designen?
Bedeutung	Welche Rolle spielen existierende Designs für deine Modelle?
	Welchen Wert hätte Thingiverse für dich, wenn es dir nicht möglich wäre andere Designs zu remixen?
	Kannst du Beispiele nennen, wo du in anderen Kontexten remixt hast?
Prozess	Wie entsteht die Idee für ein neues Thing bzw. Design?
	Kannst du das letzte Design, das du remixt hast, beschreiben?
	Wie läuft das Remixen ab?
	Was war das Ziel bzw. der Zweck deines Designs?
Plattform	Welche Rolle haben dabei existierende Komponenten gespielt?
	Welche Werkzeuge, die die Plattform bereitstellt, erleichtern dir das Remixen oder helfen dir dabei?
	Thingiverse bietet zahlreiche Metadaten, wie zum Beispiel die Anzahl der Downloads. Inwieweit nutzt du solche Daten?
Person	Wie findest du die Designs und Modelle, die du remixt?
	Warum nimmst du an Thingiverse teil und veröffentlichst deine Designs unter offenen Lizenzen?
	Bist du über die Plattform mit anderen Designern in Kontakt getreten?
	Darf ich dich fragen, wie alt du bist?
	Wie ist dein generelles Bildungsprofil?
	Welche Interessen hast du neben dem 3D-Drucken noch?

Anmerkung: Der Großteil der Interviews wurde in englischer Sprache durchgeführt. Dementsprechend wurden auch die einzelnen Fragen in Englisch gestellt.

Der Leitfaden unterteilt sich in fünf Themenblöcke. Der erste Block dient zum *Einstieg* in die Befragung. Insbesondere die ersten Fragen einer jeden Befragung sind wichtig, da sich bereits hier entscheidet, ob eine „Zielperson erfolgreich zur Befragungsperson“ (Porst, 2014, S. 139) gemacht werden konnte. Werden die ersten Fragen beantwortet, so ist in aller Regel davon auszugehen, dass die Befragung vollständig durchgeführt werden kann (Porst, 2014). Empfohlen werden spannende,

technisch einfache Fragen, die dennoch inhaltlich und themenbezogen sind und die befragte Person persönlich betreffen (King, 2006; Porst, 2014; Tracy, 2013; Lune und Berg, 2017).

Die übrigen vier Themenblöcke ergeben sich aus der Synthese der Literaturanalyse (vgl. Abschnitt 5.2.5) und sind an die zuvor vorgestellten Remix-Forschungsfelder angelehnt. Die ersten drei Fragen sollen Hinweise liefern welche *Bedeutung* die Designer dem Remixen beimessen und ob diese das Konzept der Wiederverwendung von Wissen auch in anderen Kontexten anwenden. Der Themenblock *Prozess* enthält verschiedene Fragen zum Entstehungs- bzw. Designprozess. Die Fragen sind hier bewusst offen gehalten, um so möglichst viele Informationen über den Sinn und Zweck der Designs und die Motivation der Designer zu erhalten. Anschließend werden die Designer gezielt nach Werkzeugen und Funktionalitäten der *Plattform* befragt. Im letzten Teil des Interviews werden dem jeweiligen Designer fünf Fragen zu seiner *Person* gestellt. Unter anderem werden so soziodemografische Daten, wie beispielsweise das Alter oder Bildungsprofil, erfasst.

Im Zuge der Vorbereitung wurde neben dem eigentlichen Leitfaden auch ein Anschreiben erstellt, das zur Kontaktaufnahme über das Nachrichtenzentrum der Plattform eingesetzt worden ist. In der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise, wie ein „ansprechendes“ Anschreiben (Kirchhoff et al., 2000, S. 29) gestaltet sein sollte (Kirchhoff et al., 2000; Gläser und Laudel, 2009; Morris, 2015; Hollenberg, 2016). Insbesondere die nachfolgend aufgeführten Punkte wurden bei der Erstellung des Anschreibens berücksichtigt:

- *Wer?* — Informationen zum Absender bzw. Leiter der Studie.
- *Was?* — Hintergrund, Thema und Ziel der Befragung.
- *Warum?* — Gründe für die Auswahl des Interviewpartners.
- *Wann?* — Aufforderung und weiteres Vorgehen.

Es ist üblich im Vorfeld der eigentlichen Haupterhebung einen Test durchzuführen (Porst, 2014; Döring und Bortz, 2016; Hollenberg, 2016; Lune und Berg, 2017). In der quantitativen Forschung bezeichnet man einen solchen Test als Pretest. Im Rahmen einer qualitativen Interview-Studie spricht man von *Probe-Interviews* (Creswell, 2009; Döring und Bortz, 2016). Die Tests sollten möglichst unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden, die später während der tatsächlichen Interviews vorherrschen

(Hollenberg, 2016). Ein wichtiges Ziel der Probe-Interviews ist es die Verständlichkeit der Interview-Fragen zu überprüfen (Creswell, 2009). Darüber hinaus ist es auch möglich technische Probleme, beispielsweise bei der Aufzeichnung, aufzudecken (Porst, 2014; Misoch, 2015; Hollenberg, 2016). Im Rahmen der qualitativen Studie wurden drei Probe-Interviews mit Thingiverse-Designern, die zuvor per Anschreiben kontaktiert wurden, unter realen Bedingungen durchgeführt. Basierend auf den Erkenntnissen aus diesen Tests, wurde die Formulierung einzelner Fragen leicht angepasst. Die Frage nach einem eigenen 3D-Drucker zu Beginn des Interviews, wurde nach dem Test mit aufgenommen, da alle drei Befragten jeweils von selbst darauf zu sprechen kamen. Der finale, in der Hauptbefragung eingesetzte Interview-Leitfaden ist in Tabelle 5.3 zu finden.

5.3.1.3 Erhebung und Aufbereitung

Die eigentliche Erhebung der Interviews wurde innerhalb von acht Wochen, von Anfang November bis Ende Dezember 2015, durchgeführt. Mithilfe des Anschreibens wurden in dieser Zeit insgesamt 212 Designer der Plattform kontaktiert. Der jeweilige Designer wurde dabei ein zweites Mal kontaktiert, sofern nach sieben Tagen noch keine Antwort verzeichnet werden konnte. Auf diese Weise konnte Kontakt zu insgesamt 96 Designern hergestellt werden. Eine Befragung kam schließlich mit 78 dieser Designer zustande. 47 der Interviews wurden schriftlich beantwortet, die übrigen 31 mündlich. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 34,4%. Vergleicht man diese mit üblichen Rücklaufquoten von Fragebögen, die normalerweise zwischen 5%–40% liegen, kann von einem hohen Interesse der kontaktierten Designer ausgegangen werden (Döring und Bortz, 2016).

Die mündlichen Online-Leitfaden-Interviews wurden aufgrund der breiten Verfügbarkeit via Skype durchgeführt. Da die Software von Haus aus keine Aufzeichnung unterstützt, wurde für den Audiomitschnitt auf kostenfreie Anwendungen von Drittanbietern zurückgegriffen. Das Einverständnis zur Aufzeichnung wurde von den Interviewten dabei jeweils abgefragt. Als Ergebnis liegen die Interviews nun als *Rohdatenmaterial* vor (King und Horrocks, 2010; Döring und Bortz, 2016; Lune und Berg, 2017).

Im Anschluss an die Erhebung müssen die Rohdaten aufbereitet werden. Ziel der Aufbereitung ist es, das Rohdatenmaterial mit Metainformationen zu versehen und etwaige Fehler im Material zu bereinigen (Creswell, 2009; Tracy, 2013). Nach

Abschluss der Aufbereitung liegen die Datensätze bzw. Interviews dann in einer Form vor, die mit entsprechender Analysesoftware ausgewertet werden kann (Döring und Bortz, 2016; Lune und Berg, 2017). Die *Erstellung der Datensätze* ist hierbei der erste Aufbereitungsschritt. Hierunter fallen die Sortierung, Digitalisierung und Formatierung des Rohdatenmaterials. Insbesondere bei Interview-Studien stellt die Verschriftlichung bzw. Transkription der Audioaufzeichnungen einen wesentlichen Schritt im Aufbereitungsprozess dar (Kvale, 2007; Tracy, 2013; Hepburn und Bolden, 2014; Misoch, 2015; Morris, 2015; Döring und Bortz, 2016). Aufgrund des enormen zeitlichen Aufwandes, der mit der Transkription verbunden ist, wurde ein Schreibbüro mit der Verschriftlichung der Audioaufnahmen beauftragt.

Im weiteren Verlauf der Aufbereitung wurde eine Bereinigung der Daten durchgeführt (Neuman, 2014; Döring und Bortz, 2016). Im Rahmen dieser *Datenbereinigung* wurden jeweils alle Audiomitschnitte und die jeweiligen schriftlichen Transkriptionen miteinander verglichen. Infolgedessen konnten Versprecher oder fehlerhafte Übersetzungen, beispielsweise von Namen von Things oder verwendeter CAD-Tools, korrigiert werden.

Vor Beginn der eigentlichen Analyse wurde außerdem eine *Kommentierung der Datensätze* durchgeführt (Döring und Bortz, 2016; Lune und Berg, 2017). Hierbei wurden weitere Informationen zu den jeweiligen Designern auf der Plattform eingeholt. Erfasst wurde hierbei unter anderem die Anzahl der Designs oder beispielsweise das im öffentlichen Profil hinterlegte „skill level“.

5.3.1.4 Analyse

Insgesamt wurden 78 Designer mithilfe eines Online-Leitfaden-Interviews befragt. Die einzelnen Datensätze wurden anschließend um weitere Metainformationen ergänzt. Im Folgenden wird auf die verschiedenen Schritte der Analyse eingegangen. Zunächst werden allgemeine, soziodemografische Merkmale vorgestellt, um einen Überblick über die befragten Designer zu vermitteln. Anschließend wird das Vorgehen zur Analyse bzw. Codierung des qualitativen Datenmaterials vorgestellt.

Zu den erfassten demografischen Merkmalen der interviewten Designer gehören Alter und Geschlecht. Die Designer sind durchschnittlich 36 Jahre alt und überwiegend männlich (93,6%). Lediglich fünf der Befragten sind weiblich, was einem Anteil von 6,4% entspricht. Tabelle 5.4 enthält einer Übersicht der demografischen Merkmale der interviewten Designer.

Tabelle 5.4: Demografische Merkmale der interviewten Designer ($N = 78$).

Merkmal	Ausprägung	Anzahl	Anteil
Alter	jünger als 25	6	7,7 %
	25-34	28	37,2 %
	35-44	25	32,1 %
	45-54	13	16,7 %
	55 und älter	5	6,4 %
Geschlecht	weiblich	5	6,4 %
	männlich	73	93,6 %

Tabelle 5.5: Thingiverse-spezifische Merkmale der interviewten Designer ($N = 78$).

Merkmal	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Designs	42,04	70,69	2	17	516
Makes	27,06	51,65	0	9,5	290
Fähigkeiten [1-3]	2,20	0,52	1	2	3
Abonnenten	344,04	1.419,24	0	17,5	11.754
Abonnements	28,94	101,40	0	6,5	885
Likes	183,55	279,95	2	56	1.455
Gruppen	2,62	3,75	0	1	22
Sammlungen	7,79	10,19	0	3,5	50

Tabelle 5.5 zeigt verschiedene, Thingiverse-spezifische Merkmale der Stichprobe. Neben der Anzahl der veröffentlichten Designs, die zwischen 2 und 516 liegt, schwankt insbesondere die Zahl der Abonnenten stark. Eine durchschnittliche Anzahl von 27 gemeldeten, erfolgreichen Drucken lässt darauf schließen, dass die befragten Designer nicht nur bei der Modellierung, sondern auch beim Fertigen dreidimensionaler Modelle aktiv sind.

Die Mehrheit der Designer stammt aus den USA. Aus Europa stammen 27 der Befragten, darunter acht Deutsche. Lediglich bei sechs der Befragten liegen keine Informationen zur Herkunft vor. Eine grafische Übersicht über die Herkunft der Designer gibt Abbildung 5.3.

Neben den automatisch von der Plattform erfassten Daten, haben Designer die Möglichkeit, auf ihrer öffentlich zugänglichen Profilseite weitere Informationen zu hinterlegen. Hierzu gehört beispielsweise die Einschätzung der eigenen Fähigkeiten

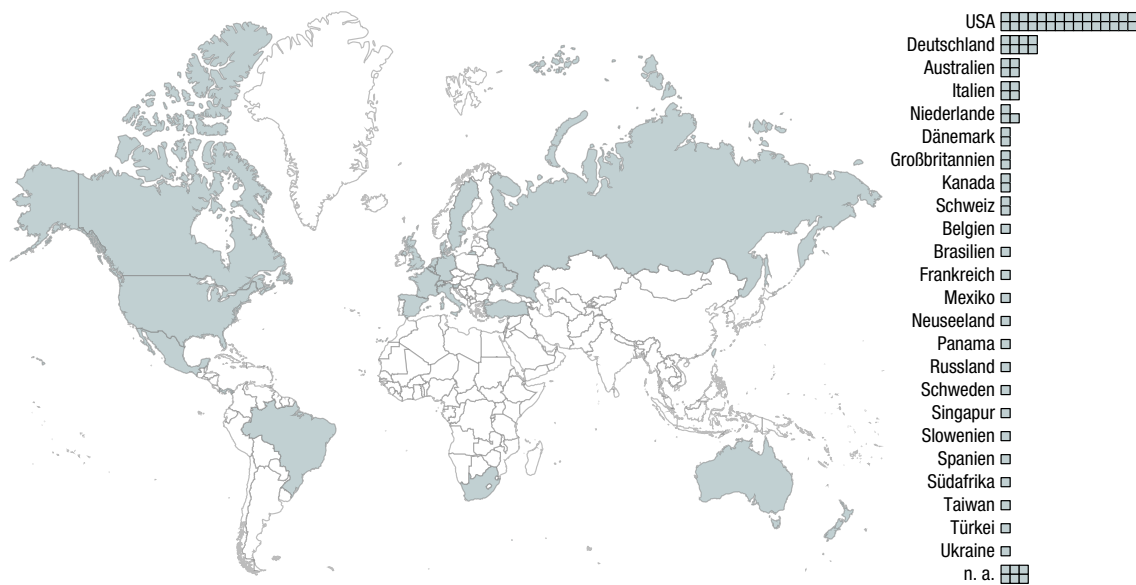


Abbildung 5.3: Herkunftsland der interviewten Designer.

(„skill level“) auf einer Skala von eins bis drei (1: „novice“, 2: „intermediate“, 3: „advanced“). Als „Anfänger“ bezeichnen sich 2,6% der Befragten. Der überwiegende Teil der Designer (35,9%) stuft sich als „fortgeschrittene Anfänger“ ein. 12,8% der interviewten Designer bescheinigt sich selbst „professionelle Fähigkeiten“. Die Profilseite von 48,7% der Befragten enthält keine Informationen zu den Fähigkeiten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich um eine optionale Angabe handelt. Eine weitere Form der freiwilligen Selbstcharakterisierung besteht durch die Angabe „Ich bin ein...“. Zur Auswahl stehen hier sieben vorgegebene Möglichkeiten: „Artist“, „Designer“, „Engineer“, „Maker“, „Professional“, „Student“ und „Teacher“. Ein Designer hat die Möglichkeit eine bis drei der Rollen auszuwählen. Abbildung 5.4 listet die Anzahl der Nennungen der einzelnen Rollen. Die Tatsache, dass sich über die Hälfte der Designer selbst als „Maker“ bezeichnet, verdeutlicht deren Nähe zur Makerbewegung.

Die qualitative Analyse ist der zentrale Bestandteil des Forschungsprozesses (Creswell, 2009; Silverman, 2016; Lune und Berg, 2017). Wegen seiner Komplexität ist dieser Teil der Theoriebildung kaum strukturiert (Eisenhardt, 1989; Lune und Berg, 2017). In der Praxis hat sich deshalb die Verwendung spezieller qualitativer Datenanalyse-Software (QDAS) durchgesetzt (Yin, 2003; Creswell, 2009; Tracy, 2013; Bazeley und Jackson, 2013; Döring und Bortz, 2016). Zur Verwaltung, Codierung und Analyse der Interviews wurde in der vorliegenden Arbeit das Programm „NVivo 11“

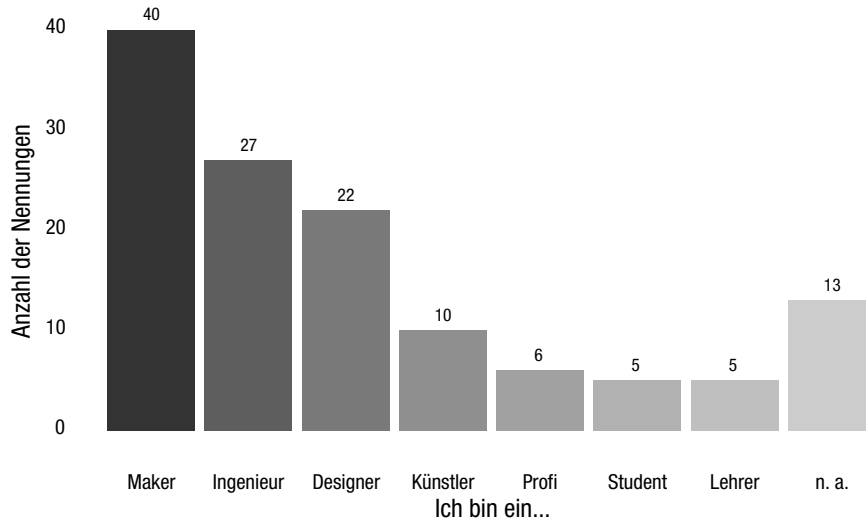


Abbildung 5.4: Selbstcharakterisierung der Designer: „Ich bin ein. . .“.

genutzt (Bazeley und Richards, 2000; DiCicco-Bloom und Crabtree, 2006; Creswell, 2009; Bazeley und Jackson, 2013). Die *Codierung* ist ein induktiv-systematischer Prozess (Creswell, 2009; Tracy, 2013; Döring und Bortz, 2016). Im Codierungsprozess werden dem Interviewmaterial bzw. einzelnen Textstellen sogenannte *Codes* zugewiesen (Tracy, 2013; Miles et al., 2014; Döring und Bortz, 2016). Ein Code repräsentiert jeweils ein Konzept oder Thema und kann beschreibend oder interpretativ sein (Saldaña, 2009; Bazeley und Jackson, 2013). In der vorliegenden Studie wurde zunächst eine *fallbezogene Auswertung* durchgeführt, bei der jedes der Interviews in mehreren Überarbeitungszyklen sequentiell codiert wurde. Im Anschluss daran ist eine *fallübergreifende Auswertung* möglich. Hierbei werden Interviews und Codierung über alle Befragungen hinweg miteinander verglichen. Ziel dieser übergreifenden Auswertung ist die Identifikation von übergeordneten, generalisierbaren Mustern (Paré, 2004; Döring und Bortz, 2016; Lune und Berg, 2017).

Abbildung 5.5 zeigt eine hierarchische Übersicht der Codes, die im Rahmen der Analyse erarbeitet wurden. Die Hierarchie basiert einerseits auf dem thematischen Rahmen der vier Remix-Forschungsfelder (vgl. Abbildung 5.2) und andererseits auf dem entwickelten Interview-Leitfaden und dessen Fragen (vgl. Tabelle 5.3). Spezifische Ergebnisse werden im Folgenden detailliert erläutert.

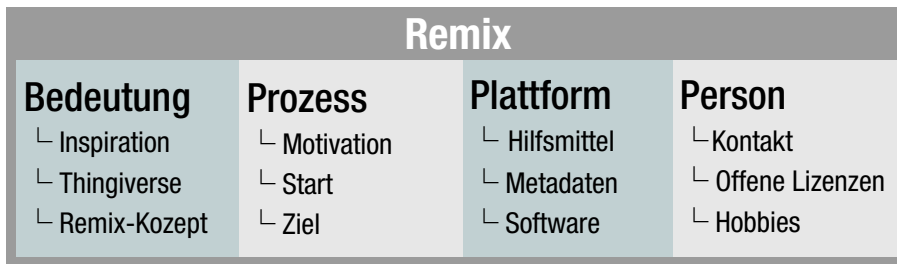


Abbildung 5.5: Hierarchische Übersicht der Codes.

5.4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchung präsentiert. Diese sind analog zu den vorgestellten vier Remix-Forschungsfeldern untergliedert: Bedeutung, Prozess, Plattform und Person.

5.4.1 Bedeutung: Remixen als zentrales Konzept

Eines der Ergebnisse der quantitativen Analyse in Kapitel 4 ist, dass Remixe eine bedeutende Innovationsquelle in offenen Online-Communities darstellen (vgl. Abschnitt 4.5.1). Auch die Befragung der Designer unterstreicht die Bedeutung des Remixens im Schaffensprozess. Bestehende Modelle dienen den Designern häufig als Anregung, Idee oder Inspiration.

Wie abhängig ein Designer von der Möglichkeit ist, auf bestehende Modelle als Basis zurückgreifen zu können, variiert dabei je nach Ausprägung der eigenen Fähigkeiten bzw. des Know-hows. Abbildung 5.6 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den Fähigkeiten eines Designers und dessen Dependenz vom Konzept.

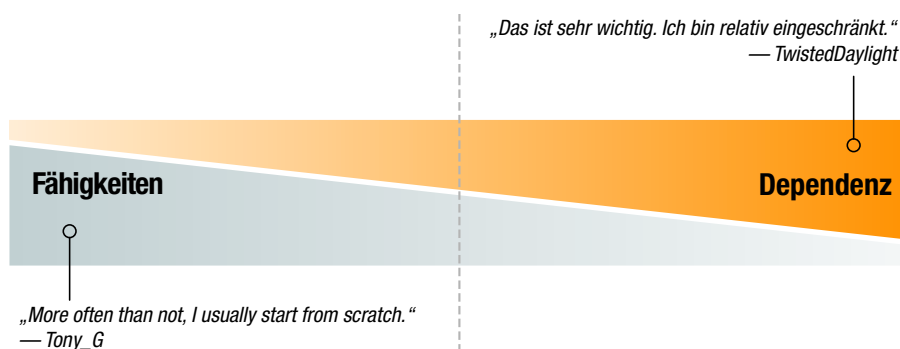


Abbildung 5.6: Dependenz der Designer in Abhängigkeit der eigenen Fähigkeiten.

Insbesondere wenig erfahrene Designer sind auf die Möglichkeit angewiesen, bestehende Modelle als Basis für eigene Kreationen verwenden zu können:

„I’m still not talented enough yet to do a lot of models that I would really like to work with. There are some very talented creators out there, who create beautiful wonderful things and share them. And so I like to take them and sometimes mess around with them.“ (ignoblegnome)

Die Wiederverwendung von Bestehendem ist nicht nur innerhalb der Plattform Thingiverse ein unverzichtbarer Bestandteil bei der Generierung neuer Ideen. Die Interviews zeigen, dass zahlreiche Designer das Konzept des Remixens bereits verinnerlicht haben und dieses – auch über die Plattform hinaus – in verschiedenen Kontexten einsetzen. Gerade dieser alltägliche, selbstverständliche Umgang und insbesondere die Nutzung des Konzepts verdeutlichen dessen zentrale Bedeutung.

Tabelle 5.6: Repräsentative Zitate zur Bedeutung des Remix-Konzeptes.

Remix	Zitat
	„Like in music, I think everything has been made already in some form and everything is a remix.“ (3DWP)
	„Nearly all of my designs were at least inspired by existing designs. I would say that’s true for pretty much all art and design. No one exists in a vacuum. [. . .] I would say in any art form or hobby you are constantly remixing. I’ve had many hobbies—and they always involve building on the ideas of others.“ (emmett)
	„The whole life is a remix. You see something, adopt it, adapt, and improve it.“ (HamOp)
Konzept	„All mathematical research is in a sense a series of remixes. Starting from other mathematicians’ published theoretical results, you ask ‚How can we go further?‘“ (mathgrll)
	„No idea is new, it’s always a remix of existing ideas. So to say, my whole life is a big remix.“ (roman_heggin)
	„Also ohne den Begriff zu nutzen, würde ich mal sagen, das tut man ständig und immer. Ja, man lebt, man hat Augen, man hat Ohren, man nimmt Sachen auf – und in irgendeiner Form gibt man sie weiter.“ (willie42)

5.4.2 Prozess: Fähigkeiten – Auslöser – Motivation

Die Analyse der Interviews hat gezeigt, dass unterschiedliche Remix-Prozesse existieren, die sich deutlich voneinander unterscheiden. Zu beachten ist hierbei, dass ein Designer nicht für jeden seiner Remixe dem gleichen Prozess-Muster folgt. Vielmehr ergibt sich aus der Situation und den Umständen einer der identifizierten Prozesse. Zu den drei Merkmalen, mit deren Hilfe ein Remix-Prozess beschrieben werden kann, gehören: die *Fähigkeiten* des Designers, der *Auslöser* des Remix-Prozesses und die *Motivation*, die den Designer antreibt. In Kombination ergeben sich sechs unterschiedliche Prozesstypen denen das Vorgehen der interviewten Designer zugeordnet werden kann: *Spaß*, *Fortschritt*, *Inspiration*, *Voraussetzung*, *Effizienz* und *Lernen*. Abbildung 5.7 zeigt alle sechs Prozesse zusammen mit einem illustrativen Zitat. Der einem Prozess zugehörige Pfad lässt erkennen, welche Kombination der Merkmale dem jeweiligen Prozess zugrunde liegt.

5.4.2.1 Fähigkeiten eines Designers

Die *Fähigkeiten* der Designer unterscheiden sich deutlich voneinander. Da sich die Fähigkeiten darauf auswirken, welche Möglichkeiten bzw. Prozesse einem Designer zur Verfügung stehen, ist eine Unterscheidung der unterschiedlichen Ausprägungen sinnvoll.

Ein Teil der Designer zeichnet sich durch *ausgeprägte* Fähigkeiten aus. Diese Fähigkeiten und das Know-how wurden über Jahre hinweg, beispielsweise in Ausbildung, Studium oder Beruf, erworben und vertieft. Designer mit ausgeprägten Fähigkeiten greifen oftmals auf professionelle CAD-Software zurück. Für den anderen Teil der Nutzer sind rechnergestütztes Konstruieren und CAD-Anwendungen Neuland. Teils wurden diese Designer zufällig auf das Thema 3D-Druck aufmerksam und beschäftigen sich erst seit Kurzem mit den damit verbundenen Möglichkeiten. Die Fähigkeiten dieser Nutzer sind entsprechend *gering*. Tabelle 5.7 listet repräsentative Zitate, welche die unterschiedlichen Fähigkeiten der Designer verdeutlichen.

5.4.2.2 Auslöser eines Remix-Prozesses

Die fallübergreifende Auswertung der Interviews hat ergeben, dass zu Beginn eines jeden Remix-Prozesses ein *Auslöser* steht. Dieser triggert den Schaffensprozess beim jeweiligen Designer. Die Interviews zeigen, dass sich zwei verschiedene Auslöser

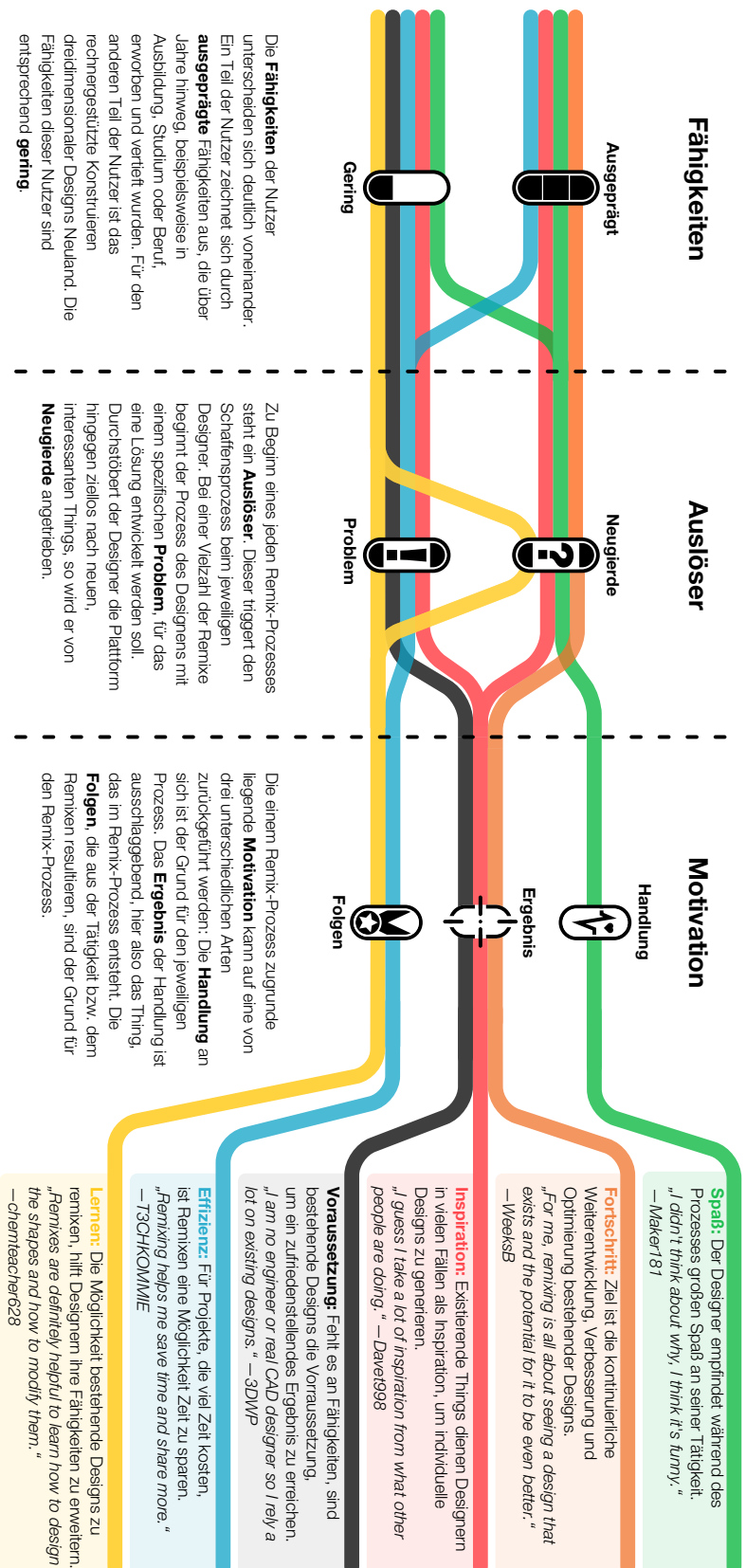


Abbildung 5.7: Übersicht typischer Remix-Prozesse.

Tabelle 5.7: Repräsentative Zitate zum Merkmal „Fähigkeiten“.

Fähigkeiten	Zitat
ausgeprägt	„As an architect I do a lot of 3D modeling.“ (David_Mussaffi)
	„I'm working in R&D, so I came in contact with rapid prototyping techniques quite early.“ (HamOp)
	„I teach 3D CAD Software and I was looking for some models as an exercise for students and for me.“ (roman_hegglin)
	„I am an industrial designer. My industry was an early adopter of rapid prototyping, as it used to be called.“ (Taikonaught)
gering	„I [...] became the reviewer for three dimensional software [...]. So I started to become quite familiar with the 3D software market and became quite an expert user of that.“ (ModernGnome)
	„I just read about on the internet and I thought it looked interesting. I like the idea of making something on your computer and then getting it as a physical object.“ (Gertsen)
	„Well, my husband's friend bought a 3D printer last year to print quadcopters and my husband was so thrilled by this technology, that he also bought a 3D printer. Before this I had no idea of what 3D printing is [...] so with this new machine in the house we started to learn modelling software.“ (TjasaBasa)
	„I'm still not talented enough yet to do a lot of models that I would really like to work with.“ (ignoblegnome)

unterscheiden lassen: Problem und Neugierde. In Tabelle 5.8 sind exemplarische Zitate zu den beiden genannten Auslösern aufgeführt.

Bei einer Vielzahl der Remixe beginnt der Prozess des Designs mit einem spezifischen *Problem*, für das eine Lösung entwickelt werden soll. Hierbei wird gezielt nach anderen, bereits bestehenden, Lösungsansätzen für das Problem gesucht. Im Gegensatz zu den Prozessen, die durch ein Problem ausgelöst werden, durchsucht der Designer bei durch *Neugierde* angetriebene Prozesse die Plattform in aller Regel ziellos nach neuen, interessanten Things.

5.4.2.3 Motivation des Designers

Zu den Determinanten motivierten Handels gehören drei unterschiedliche Arten von *Motivation* (Heckhausen und Heckhausen, 2010). Auch die den verschiedenen Remix-Prozesstypen zugrunde liegende Motivation kann auf eine von drei unterschiedlichen Arten zurückgeführt werden.

- Die *Tätigkeit* bzw. Handlung an sich ist der Grund für den jeweiligen Prozess.

- Das *Ergebnis* der Tätigkeit ist ausschlaggebend, hier also das Thing, das im Remix-Prozess entsteht.
- Die *Folgen*, die aus der Handlung bzw. dem Remixen resultieren, sind der Grund für den Remix-Prozess.

Tabelle 5.8: Repräsentative Zitate zum Merkmal „Auslöser“.

Auslöser	Zitat
Problem	<p>„More often than not, I am trying to solve a problem. Maybe I want to print a phone mount for my motorcycle, or a rubber washer for my broken garden hose. Most of my ideas come from a problem that I need to solve.“ (T3CHKOMMIE)</p> <p>„I had a problem that I wanted to solve.“ (thedemri)</p> <p>„All of my designs could be seen as solutions to a problem.“ (theRowmeister)</p> <p>„Very often by having an obvious problem—something broken that needs to be fixed, something that needs a case, something that needs to be mounted somewhere.“ (HamOp)</p>
Neugierde	<p>„I just browse around until something inspires me.“ (emmett)</p> <p>„I'm looking for someone else's design to start from. It's my launching pad. Usually it's kind of my trigger, it's what gives me inspiration to do something.“ (drandolph)</p> <p>„You covet what you see. That is true because when you see different things you get ideas. So I flip through Thingiverse. And I don't actually look for something. I just look for things that I like or that I think are valuable.“ (Betopty)</p>

5.4.2.4 Remix-Prozesse

Im Folgenden werden die sechs unterschiedlichen Remix-Prozesse detailliert vorgestellt. Neben einer kurzen Beschreibungen werden zu jedem Prozess mehrere repräsentative Zitate aufgeführt. Außerdem wird jeder Prozess anhand eines konkreten Remix-Beispiels bzw. einer Remix-Story aus den Interviews veranschaulicht und abschließend in einer Abbildung zusammengefasst (Sandelowski, 1991; Bailey und Tilley, 2002; Gabriel und Griffiths, 2006).

Spaß

Beim Prozesstyp *Spaß* steht die Handlung selbst im Vordergrund. Der Remix-Prozess verschafft dem Designer – unabhängig von dessen Fähigkeiten – Genugtuung und er empfindet während des Prozesses großen Spaß an seiner Tätigkeit. Ausgelöst wird der jeweilige Remix-Prozess in aller Regel durch die Neugierde des jeweiligen Designers und nicht durch ein vorhandenes, konkretes Problem. Tabelle 5.9 enthält verschiedene Zitate aus den Interviews, die charakteristisch für den Prozess sind.

Tabelle 5.9: Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Spaß“.

Prozess	Zitat
Spaß	„Tatsächlich ist es aber ganz viel Freizeitbeschäftigung und eigentlich auch Spaß.“ (willie42)
	„I didn't think about why, I think it's funny.“ (Maker181)
	„There's a lot of fun in trying to figure out how to limit everything to 45° or higher angles or figure out how to make a model into a set of dual-extrusion parts.“ (WeeksB)

CuprikReki studiert Maschinenbau und engagiert sich in einem lokalen Makerspace. Im Rahmen seines Studiums hat er sich erstmals mit dem Thema 3D-Druck auseinandergesetzt. Sein letzter Remix – der Baracktopus – ist ein typisches Beispiel für den Prozesstyp „Spaß“. Der Remix ist eine Kombination von drei Things, die *CuprikReki* auf Thingiverse fand und zu einem neuen Design zusammensetzte. Kernstück des Remixes ist das Modell eines Oktopuses, der häufig als Testdruck nach der Kalibrierung von 3D-Druckern eingesetzt wird. Der Oktopus ist unter den Nutzern der Plattform sehr populär. *CuprikReki* kombiniert ihn mit einer Büste des ehemaligen US-Präsidenten Barack Obama und dem Modell einer Hand, deren Kleiner- und Zeigefinger abgespreizt sind, wie man es beispielsweise aus der Metal- und Rock-Szene kennt. *CuprikReki* kombiniert die drei Things von unterschiedlichen Designern zu einem neuen Design. Dabei entstanden ist ein Oktopus, der den Kopf von Barack Obama besitzt und gleichzeitig ein Tentakel in die Luft streckt, das den Handgruß aus der Rockszene symbolisiert. Ausgelöst wurde der Prozess eher zufällig, als sich *CuprikReki* mit einem Freund durch die verschiedenen Modelle der Plattform klickte:

„I just keep looking through Thingiverse designs and ideas and I'll find inspiration in places I've never expected [...]. And so we were just talking

one night and we were just, you know, just thinking of really fun things that we could print, just playing around, just creatively.“

Das Design geht weder auf ein konkretes Problem oder Bedürfnis zurück, noch hat der Designer eine Verwendung für das Ergebnis. Der Spaß an der kreativen Tätigkeit und die Möglichkeit auf Basis anderer Ideen etwas Neues hervorzubringen, stand für ihn im Vordergrund und war Triebkraft im Entstehungsprozess:

„So well I think that design was completely just, just for fun“.

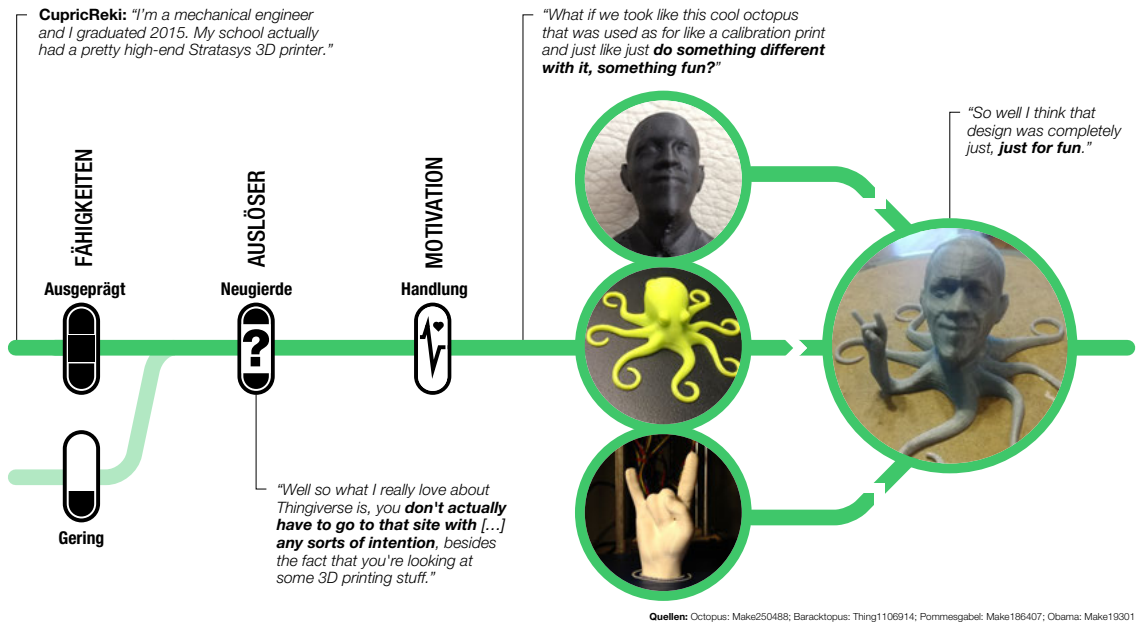


Abbildung 5.8: Remix-Prozess: Spaß.

Fortschritt

Einige Designer mit ausgeprägten Fähigkeiten setzen ihr spezifisches Know-how zum Wohle aller ein und tragen so aktiv zum *Fortschritt* der Plattform und Community bei. Innerhalb des Prozesses steht das Ergebnis im Vordergrund, hier die kontinuierliche Weiterentwicklung, Verbesserung und Optimierung bestehender Things, auf die die Designer eher zufällig aufmerksam geworden sind. Die repräsentativen Zitate in Tabelle 5.10 belegen, dass es beim Remixen auch um das uneigennützig Reparieren und Verbessern fehlerhafter Designs geht.

Bereits seit einigen Jahren verfolgt *Basjohan* die Entwicklung der Desktop-3D-Drucker. Ausschlaggebend für ihn, sich selbst einen solchen anzuschaffen, war letztendlich ein Kollege, der sich einen Bausatz für einen 3D-Drucker zugelegt hat.

Tabelle 5.10: Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Fortschritt“.

Prozess	Zitat
Fortschritt	„I saw quite some models that were not 3D printable like 3D scans or models with holes and problems. I started to fix these for people as a nice gesture [...] Sometimes I look for scans that have great quality but need fixing, it's a hobby and I like to share those models.“ (3DWP)
	„Sometimes I remix objects that were uploaded to Thingiverse as broken printing files such as if a design is non-manifold. I fix it and then upload it again.“ (MakerBotLearning)
	„So I guess, for me, remixing is all about seeing a design that exists and the potential for it to be even better.“ (WeeksB)

Basjohan hat sich daraufhin denselben Drucker-Bausatz gekauft. Auf diese Weise konnte er sich mit seinem Kollegen über den Bau und Betrieb des Druckers regelmäßig austauschen und verschiedene Ideen diskutieren. Häufig findet *Basjohan* auf der Plattform Things, die ihn durch ihren Ideenreichtum begeistern, aber aus seiner Sicht noch verbessert werden können:

„Usually I came to the decision when I find a product. I think it's a good idea or a very good idea, but it's not quite good enough for my purpose. So when it is a basic good idea and a good concept that I want to make it a little bit better, that is when I decide to remix it.“

So ist es ihm auch bei einem seiner Remixe ergangen. Der von ihm beschriebene Prozess zeigt eindrucksvoll, wie bestehende Designs weiterentwickelt und verbessert werden können. *Basjohan* nennt seinen Remix „Finger tightening ring for hex nuts“. Hierbei handelt es sich um die Weiterentwicklung eines kleinen Werkzeugs, das genutzt werden kann, um sechseckige Überwurfmutter mit der Hand festzuziehen. Solche Mutter werden beispielsweise an Antennenkabeln für das Satellitenfernsehen (F-Stecker) oder Verlängerungskabeln für WLAN-Antennen (SMA / RP-SMA) eingesetzt und sind oftmals nur unzureichend mit einem normalen Schraubenschlüssel zu erreichen. *Basjohan* ist über das Design eines anderen Designers gestoßen, das seinen Zweck im Prinzip erfüllt, von *Basjohan* aber nicht eingesetzt werden konnte, da der Ring für seinen speziellen Anwendungsfall zu dick war. Da er von der Idee dennoch überzeugt war, hat er das ursprüngliche Design verändert und als Customizer auf der Plattform erneut veröffentlicht. Beim Prozess stand für *Basjohan* stets das Ergebnis im Vordergrund. Aus seiner Sicht ist das neue Thing ein deutlicher

Fortschritt im Vergleich zum vorherigen Design, da es sich nun unter anderem in seinen Abmessungen anpassen lässt:

„I wanted to make it more adjustable. I made a customizer so that you can select yourself, what size of nut, what you want to use it, or how big you want the wheel, and how many teeth you want to have to get the proper quick.“

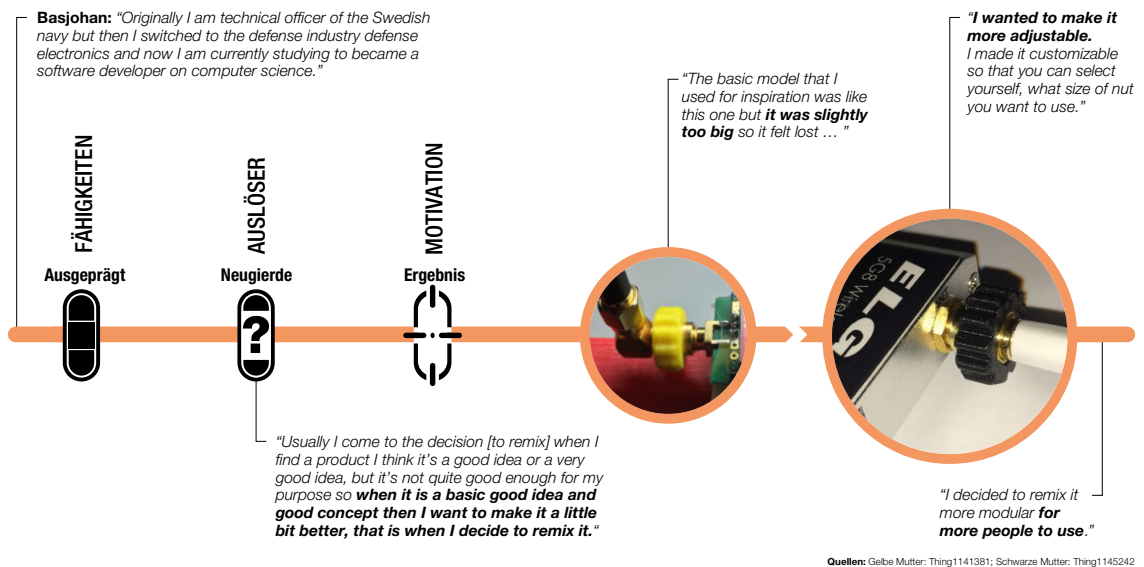


Abbildung 5.9: Remix-Prozess: Fortschritt.

Inspiration

Oftmals wird die Plattform aus reiner Neugierde, oder auf der Suche nach einer Problemlösung, nach *Inspiration* für eigene Kreationen durchsucht. Das Interesse des Designers liegt im Ergebnis. Der Prozess des Remixens ermöglicht es Designern, individuelle, kreative Lösungen zu generieren. Zitate von interviewten Designern mit unterschiedlichen Fähigkeiten verdeutlichen, dass bei vielen Remix-Prozessen die Inspiration im Vordergrund steht.

kresty bezeichnet sich selbst als Maker. Obwohl er seinen College-Abschluss in Geschichte gemacht hat, ist er von Technik- und Computertemen fasziniert. Seinen 3D-Drucker, einen Flashforge Creator Pro, nutzt er häufig, um Teile für selbst entwickelte Roboter zu fertigen. An Thingiverse gefällt ihm vor allem die Möglichkeit sich durch die vielfältigen Designs von anderen Designern inspirieren zu lassen und sich Anregungen und Ideen zu holen:

Tabelle 5.11: Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Inspiration“.

Prozess	Zitat
Inspiration	„I really love just browsing on Thingiverse and see what other people are doing. I think it's a great way to get inspiration for your own design.“ (b2vn)
	„I guess I take a lot of inspiration from what other people are doing. And then I came up with fresh new ideas.“ (Davet998)
	„I was able to see what other people have created. And then use bits of pieces from their designs as inspiration to kind of make my things.“ (bamhm182)

„I like being able to find new Things and ideas to make.“

Findet *kresty* ein Design, das ihm gefällt, möchte er es in den allermeisten Fällen nicht einfach nur herunterladen und reproduzieren – er will das Ergebnis individualisieren und an seine persönlichen Vorstellungen und Bedürfnisse anpassen:

„I see something ‚fun‘ on Thingiverse and decide I want to make it—but then I change it.“

Ein Beispiel für einen Remix bei dem sich *kresty* inspirieren hat lassen, ist seine druckbare Rose. Nachdem er die Idee hatte, seiner Frau eine Rose zum Valentinstag zu drucken und zu schenken, fand er auf Thingiverse verschiedene existierende Modelle. Leider entsprach keines der vorhandenen Modelle seinen Vorstellungen: Ein Modell enthielt nur den Blütenkopf einer Rose, jedoch keinerlei Stiel oder Blätter, ein anderes besaß zwar einen Stiel, jedoch keinerlei Dornen, da es als Ansteckblume konzipiert war, die man an einem Anzug trägt. Sein Ziel fest vor Augen, nutzte *kresty* die bestehenden Designs als Inspiration, um eine eigene Rose zu modellieren. In einer Best-of-Zusammenstellung kombinierte er drei verschiedene Modelle von Rosen, um so letztendlich eine Rose zu kreieren, die seinen Vorstellungen von einer Rose am nächsten kommt. Am Ende des Inspirations-Prozesses konnte er seine Frau zum Valentinstag beschenken. Sie besitzt nun eine Rose mit Kelchblättern, Stiel und Dornen – und natürlich einer passenden Vase.

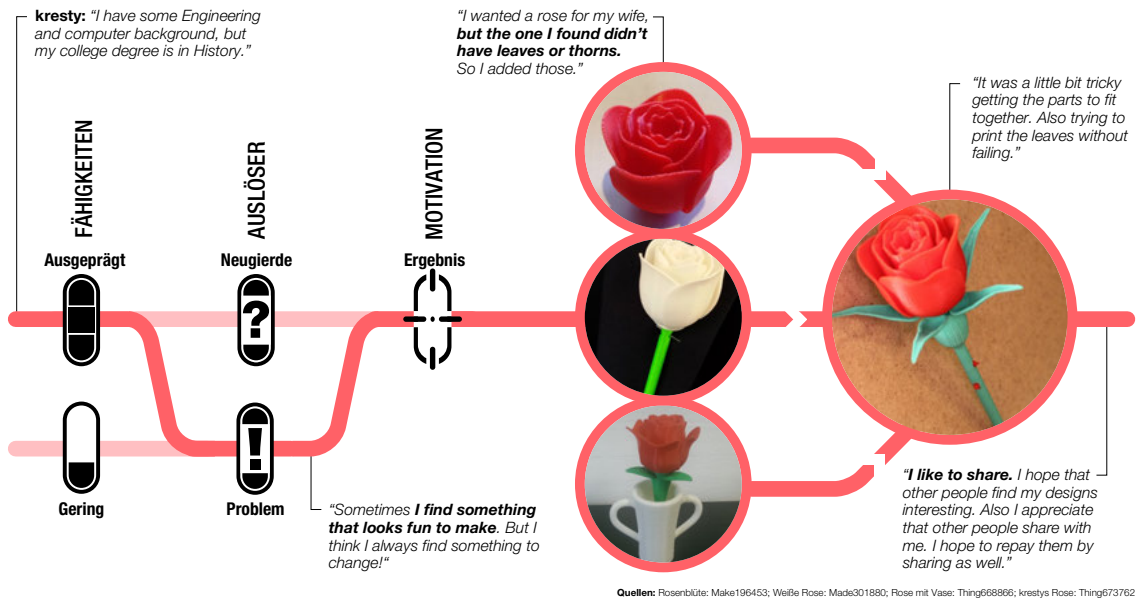


Abbildung 5.10: Remix-Prozess: Inspiration.

Voraussetzung

Viele Designer besitzen relativ eingeschränkte Fähigkeiten in Bezug auf CAD-Modellierung und im Umgang mit 3D-Druckern, da sie teils zufällig auf die Technologie und die damit verbundenen Möglichkeiten gestoßen sind. Soll nun ein komplexes Problem gelöst werden, fehlt oftmals das entsprechende Know-how. Das Remixen ist in einem solchen Fall die *Voraussetzung*, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Tabelle 5.12 verdeutlicht, dass einige Designer auf die Möglichkeit zu remixen angewiesen sind.

Tabelle 5.12: Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Voraussetzung“.

Prozess	Zitat
Voraussetzung	„I am no engineer or real CAD designer, so I rely a lot on existing designs.“ (3DWP)
	„They can also provide a starting point for my own designs or provide whole components for my own designs—enabling me to do more than what I could do on my own.“ (raudette)
	„I'm not able to make something as complicated as an accurate bust of a human.“ (mfritz)
	„I don't have a background in 3D design or anything like that and my computer actually doesn't run a lot of the 3D design software. [...] I'm limited on what I can design.“ (JMBishop)

mfritz ist ein Lehrer aus New Jersey. Als sich die Schule, in der er unterrichtet, im Januar 2015 einen 3D-Drucker angeschafft hat, um diesen im Unterricht einzusetzen, hat er sich erstmals mit der Thematik auseinandergesetzt. Dreidimensionale Modellierung und CAD-Anwendungen sind für ihn neu, seine Fähigkeiten entsprechend gering. Im Interview beschreibt *mfritz* eines seiner Modelle, das er ohne die Möglichkeit zu remixen nicht hätte erstellen können. Die Schüler der Schule hatten lange am Musical „Shrek JR.“ geprobt, das an den gleichnamigen computeranimierten Kinofilm von DreamWorks aus dem Jahr 2001 angelehnt ist. Als Anerkennung und Andenken wollte *mfritz* dem Schüler in der Rolle des Lord Farquaad eine detailgetreue Büste des Charakters schenken. Leider musste *mfritz* schnell feststellen, dass seine Fähigkeiten nicht ausreichten, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen:

„I’m not able to make something as complicated as an accurate bust of a human. I’m just learning how to scan things and use sculpting apps.“

Auf der Suche nach einer Lösung für sein Problem, wurde *mfritz* auf Thingiverse fündig. Er fand dort das Modell eines jungen Mannes. Laut der Plattform handelt es sich um einen dreidimensionalen Scan. Dieser wurde mit einer Kinect, die normalerweise als Bewegungssteuerung an einer Spielkonsole verwendet wird und der Software ReconstructMe, erstellt und anschließend auf Thingiverse veröffentlicht. Aufgrund seines markanten Kinns besitzt der Scan des jungen Mannes bereits eine gewisse Ähnlichkeit mit Lord Farquaad. Deshalb nutzte *mfritz* das Modell und bearbeitet es mit dem einfachen Online-CAD-Tool Tinkercad weiter. Das ursprüngliche Modell des Mannes wurde um aufgepuffte Schultern und einen einfachen Hut, wie ihn der Charakter im Animationsfilm trägt, ergänzt. Das ausgedruckte Modell wurde anschließend noch bemalt:

„I found a bust on Thingiverse that was close—I needed a fairly clean model with a strong chin. Then I used Tinkercad to add a hat and change the shape of the shoulders on the model, printed it and painted it.“

Mit dem bestehenden Modell als Voraussetzung für seinen Remix konnte *mfritz*, trotz seiner relativ eingeschränkten Fähigkeiten, eine Lord Farquaad Büste erstellen, die dem fiktiven Charakter wie aus dem Gesicht geschnitten ist.

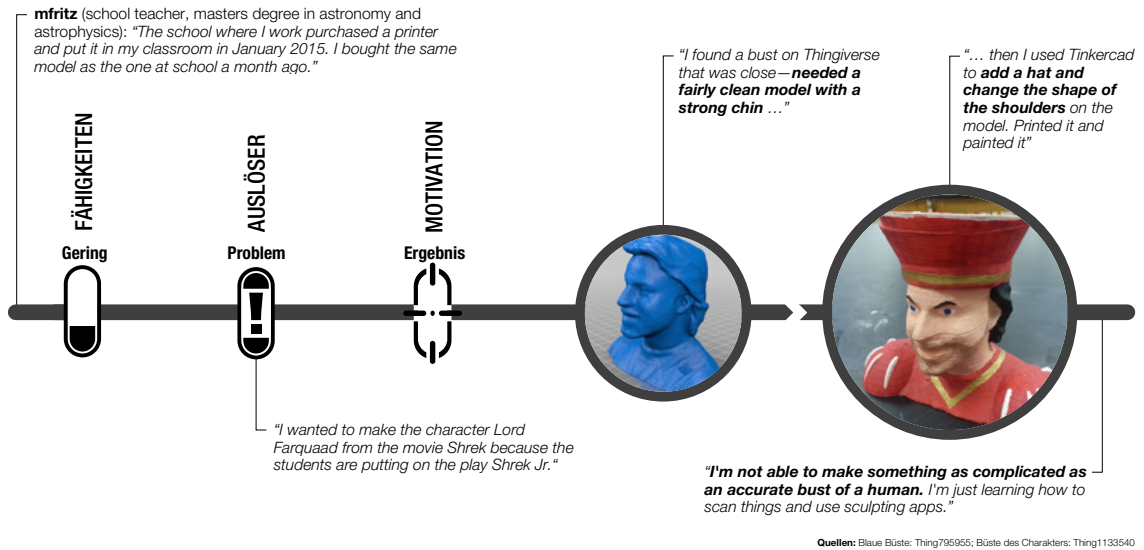


Abbildung 5.11: Remix-Prozess: Voraussetzung.

Effizienz

Unabhängig von den Fähigkeiten oder dem zu lösenden Problem nimmt die Modellierung eines Things eine gewisse Zeit in Anspruch. Insbesondere bei aufwendigen

Tabelle 5.13: Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Effizienz“.

Prozess	Zitat
Effizienz	„First, I think is important not to waste your lifetime doing stuff which is already done.“ (Alfonmc)
	„I don't like wasting time, solving problems that are already solved.“ (Bluebie)
	„Remixing helps me save time and share more.“ (T3CHKOMMIE)
	„Oftentimes I use existing or freely available models to speed my design process. Working from scratch is far more time consuming.“ (cymon)
	„The reason I remix is because time, it's a time saver for me. Instead of making it completely from scratch, using someone else's as a starting point, saves me a lot of time and gives me a lot of inspiration.“ (drandolph)

Projekten versuchen Designer Zeit einzusparen und entscheiden sich für einen Prozess mit dem sie schneller zum gewünschten Ziel gelangen. Remixen ist hier ein Mittel, das in der Folge zu mehr *Effizienz* führt. Tabelle 5.13 zeigt, dass Designer infolge des Remixens häufig Zeit einsparen können und deshalb Designs wiederverwenden.

chemteacher628 ist Chemie- und Mathelehrer an einer amerikanischen Highschool. Im Zuge des Preisverfalls bei Desktop-3D-Druckern hat er sich vor einigen Monaten selbst einen solchen angeschafft. Viele seiner Modelle drehen sich um Chemie und

können im Unterricht eingesetzt werden, um den Schülern naturwissenschaftliche Zusammenhänge anschaulich zu erklären. Zu seinen Hobbies zählt unter anderem Schach – so kam ihm die Idee beides zu verbinden und ein „Biochemie-Schach“ zu entwerfen:

„For the chess set I was pretty much just avoiding doing other work that I needed to do, looking at some of the other chess sets. I was like, ‚Wouldn’t it be cool if there was a science sort of chemistry based chess set?‘“

Für *chemteacher628* war relativ schnell klar, wie sein Schach aussehen sollte. Wichtig war ihm, dass die unterschiedlichen Spielsteine bzw. Schachfiguren durch verschiedene Moleküle repräsentiert werden:

„I had a basic idea of what I wanted—one of each type of bio molecule. So I searched each one on Thingiverse and a couple of other websites.“

Insgesamt verwendet *chemteacher628* für sein Schachspiel vier Molekülmodelle, die er auf der Plattform gefunden hat: Springer (tRNA), Läufer (Maltose), König (DNA-Doppelhelix) und Königin (DNA-Polymerase). Der Bauer basiert auf dem Nukleotid ATP, das aus einer Proteindatenbank stammt. Den noch fehlenden Turm, der durch eine Doppellipidschicht repräsentiert wird, hat *chemteacher628* selbst designt. Nachdem alle Moleküle gefunden waren, mussten diese nur noch auf einen Standfuß gesetzt und leicht angepasst werden, damit sie sich als Schachfiguren eignen. Durch die Wiederverwendung bestehender Things konnte *chemteacher628* sehr effizient arbeiten und hat in Folge viel Zeit eingespart. Dass er seine Idee innerhalb von nur einem Wochenende realisieren konnte, hat ihn selbst erstaunt:

„And actually I was able to make it, just over one weekend, which I was surprised that I was able to. [...] It was a combination of, let me use what already works out there and save time, rather than spend hours and hours trying to design something that may or may not work.“

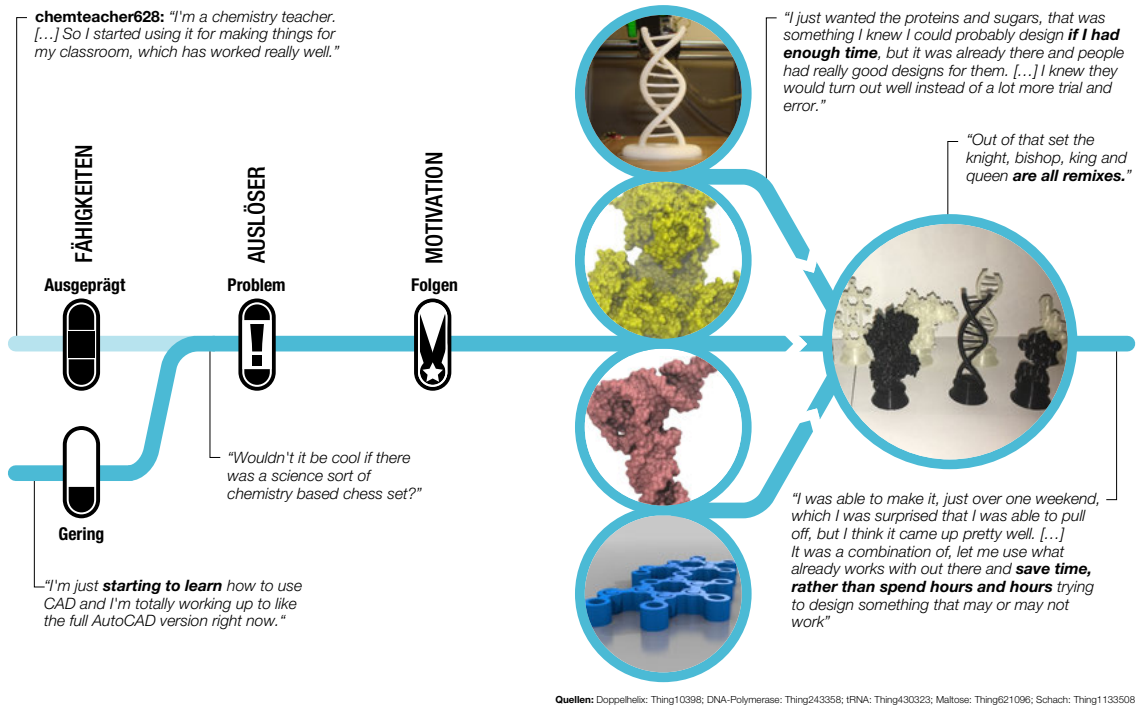


Abbildung 5.12: Remix-Prozess: Effizienz.

Lernen

Die Möglichkeit auf bestehende Designs zurückzugreifen und diese zu remixen, hat nicht nur eine Zeitersparnis zur Folge. In vielen Situationen hilft der Remix-Prozess Designern, bestehende Fähigkeiten zu üben oder sich neue anzueignen – ähnlich dem Training beim Sport. Insbesondere für die Modellierung von komplexen Dingen sind solche erweiterten Fähigkeiten nötig. Auslöser des Prozesses ist ein konkretes Problem oder eine Aufgabe, die sich die Designer oftmals selbst auferlegen und die es zu lösen gilt. Das hierbei erzielte Ergebnis ist zweitrangig, vielmehr steht die

Tabelle 5.14: Repräsentative Zitate zum Remix-Prozess „Lernen“.

Prozess	Zitat
Lernen	„The way to learn the most is by studying some others' designs.“ (Alfonmc)
	„I was just playing around, learning how to use the modeling program and what sorts of geometries I could print.“ (WeeksB)
	„If you make changes to it rather than just take it and print it, you know, then you've learned so much more—you helped yourself improve.“ (ignoblegnome)
	„The aim of the design was primarily educational [. . .]. It was also educational for me, too, as I find I learn from each project I do.“ (edenr)

Folge bzw. Konsequenz im Vordergrund, die sich aus dem Prozess ergibt, hier das *Lernen*. Die repräsentativen Zitate in Tabelle 5.14 zeigen, dass „Learning by Doing“ auch beim rechnergestützten Konstruieren bzw. Remixen praktiziert wird.

mathgrrl – eine der wenigen interviewten Designerinnen – beschreibt während des Interviews, wie sie sich das Ziel gesetzt hat, mithilfe eines Remix-Prozesses zu lernen. Sie betont dabei, dass es ihr in erster Linie nicht um das Thing an sich geht, sondern dass sie durch die Folgen motiviert wird, die sich aus dem Durchlaufen des Prozesses ergeben:

„I didn’t really ‚need‘ the trophy [...], but I was interested in solving the problem of that technique.“

Sie erlernt, wie man ein beliebiges Thing der Plattform in einen Customizer umwandeln kann, der dann wiederum durch andere Nutzer anhand einiger Parameter an eigene Bedürfnisse angepasst werden kann:

„My remixed ‚Customizable Beefy Trophy‘ came about because I wanted to learn how to take anything on Thingiverse and turn it into something that you could use in a Customizer for people to easily swap out or personalize.“

Die Basis für ihren Remix – eine Trophäe, deren Sockel und Gravur sich einfach anpassen lassen – bilden zwei andere Designs. *mathgrrl* nutzt für ihren Customizer die Statue einer Frau mit Engelsflügeln, die beide Arme in die Höhe streckt und die Muskeln spielen lässt. Interessanterweise handelt es sich hierbei auch um einen Remix, in dem eine einfache Statue mit muskulösen Armen aus einem anderen Modell ausgestattet wurde. Im Laufe des Prozesses kommt außerdem ein Software-Modul zum Einsatz, das es ermöglicht aus der populären CAD-Software Blender OpenSCAD-Quellcode zu exportieren. Genau dieser Code wird benötigt, um einen Customizer zu erstellen. Auf der Profilseite der Customizable Beefy Trophy, die bereits von Thingiverse ausgezeichnet wurde, beschreibt *mathgrrl* ausführlich die verschiedenen Schritte, angefangen bei der Installation des Blender-Add-ons bis hin zum abschließenden Export in das OpenSCAD-Dateiformat. Auf diese Weise haben andere Thingiverse-Nutzer nicht nur die Möglichkeit eigene Remixe mithilfe des Customizers zu erstellen, sondern können auch an ihrem Lernprozess teilhaben und davon profitieren:

„If you think about it, the resulting customizable model then itself give rise to a whole bunch of other minor remix variations, since future users can resize the base and type their own names and text onto the trophy. [...] I believe that when we create knowledge, we should share it with the world so that other people can build on what we have done.“

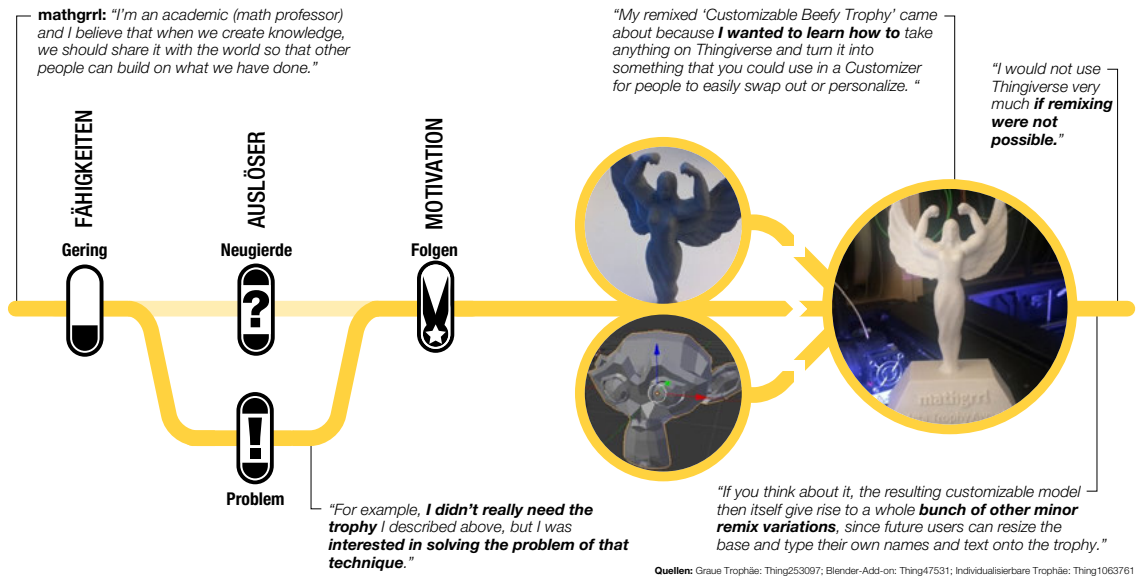


Abbildung 5.13: Remix-Prozess: Lernen.

5.4.3 Plattform: Metadaten als Anhaltspunkt

Zusätzlich zu den Modelldaten speichert Thingiverse Metadaten von Things, wie beispielsweise deren Namen oder das Datum der Veröffentlichung. Außerdem gehören zu jedem Thing dynamische Daten, wie die Anzahl von Aufrufen, Downloads, Likes und bestätigten Makes (vgl. Abschnitt 3.4.2.3 und 4.3.1).

Im Gegensatz zu den Thing-zentrierten Untersuchungen in den vorherigen Kapiteln, müssen aus Designer-Sicht zwei unterschiedliche Arten von Metadaten unterschieden werden: die der eigenen Things und die fremder Things, die von anderen Designern veröffentlicht wurden. Je nachdem um welche Art von Thing es sich handelt, liegt der Fokus der Betrachtung auf unterschiedlichen Statistiken.

Die Statistiken zu den Metadaten der eigenen Things dienen den Designern als Anhaltspunkt, wie andere Designer über Kreationen denken. Besondere Beachtung schenken die Designer dabei vor allem den Likes und den Downloads. Die einzelnen

Kennzahlen werden jedoch lediglich als Bestätigung herangezogen – beeinflussen lassen sich die Designer durch diese nicht.

Geht es um die Metadaten fremder Modelle werden vorrangig die Anzahl an Downloads oder Makes und die Kommentare herangezogen. Downloads und Makes werden genutzt, um die Praxistauglichkeit zu bewerten. Die Kommentare enthalten oftmals spezielle Hinweise und Tipps, beispielsweise zu spezifischen Einstellungen während des Fertigungsprozesses.

Tabelle 5.15: Repräsentative Zitate zu den Metadaten eigener Modelle.

Metadaten	Zitat
eigene	„I don't really use any of them for more than just seeing what other people think. Like it's more just, hey other people like what I'm doing, so I should continue to do it.“ (bamhm182)
	„I like to know these things because it is interesting, but I can't say that I have an actual practical use for that data.“ (mathgrri)
	„I am amused to see what pieces of mine users are interested in but it never influences what I make next.“ (WeeksB)
	„But also an interesting thing for me is that I like watching just the downloaded designs and the likes. Kind of like facebook, and you like something, it's the same context for makers. When I see that I got 5,000 likes and 2,000 downloads I know I did something right.“ (drandolph)

Tabelle 5.16: Repräsentative Zitate zu den Metadaten fremder Modelle.

Metadaten	Zitat
fremde	„The number of downloads or makes, and the comments too, are indicators of the quality of the model. I tend to avoid printing models that no other people—including the author—have made yet, because there could be problems.“ (MarcoAlici)
	„By focusing my searches to models that have higher downloads, I am able to find models that have gone through more testing and gain the benefit of learning from other people's mistakes.“ (stewartde)
	„I usually try to look at them and especially if there is a make of a model. Because that is an easy way to see how easy it is to print.[...] I usually read others people's comments about how they printed it.“ (Basjohan)
	„The number of makes is useful to determine how easy it is to print, but that doesn't stop me from seeing if I can still use the design.“ (edenr)
	„I also check out the comments. You can get a good idea of how well a part fits and works by that data.“ (T3CHKOMMIE)

Die simpelste und populärste Form des Remixens auf Thingiverse ist das Remixen mithilfe eines Customizers (vgl. Abschnitt 4.4.3.2). Customizer sind IT-Artefakte, die simple, flache Remixe direkt auf der Plattform erlauben. Was Customizer auszeichnet,

ist, dass die Anpassungen direkt innerhalb der Webseite, ohne spezielles CAD-Know-how, möglich sind. Aus der quantitativen Untersuchung ist bereits bekannt, dass hinsichtlich der Nutzung des Customizers zwei unterschiedliche Gruppen von Designern unterschieden werden können (vgl. Abschnitt 4.4.4.1). Eine Gruppe steht der verfügbaren Funktionalität äußerst positiv gegenüber und nutzt diese häufig, wohingegen die andere Gruppe nicht auf Customizer zurückgreift. Die Befragung der Designer zeigt ein ähnliches Bild, wie die Zitate in Tabelle 5.17 verdeutlichen.

Tabelle 5.17: Repräsentative Zitate zur Nutzung des Customizers.

Customizer	Zitat
Akzeptanz	„Well the Customizer is great and they call Things you've customized remixes.“ (maso27) „I actually find the Customizer to be very helpful.“ (marciot)
Ablehnung	„I don't generally use any of the Thingiverse Customizer Things. I just download the existing models and work with them in Blender.“ (Bluebie) „I have not yet used the Customizer, no need as my customizations are far more complicated than just adding text or changing scale.“ (T3CHKOMMIE)

Thingiverse ist ein reines Repository für dreidimensionale Designs. Infolgedessen stellt die Plattform—abgesehen vom Customizer—keinerlei weitere Hilfsmittel oder CAD-Software zur Verfügung:

„The plattform provide less than minimum tools to model something.“
(Alfonmc)

Aus diesem Grund sind Designer auf Software von Dritten angewiesen. Abbildung 5.14 gibt einen Überblick über die zur Modellierung verwendete CAD-Software. Hierbei ist zu beachten, dass Designer die Möglichkeit hatten, mehrere Tools anzugeben, die sie regelmäßig verwenden. Zur besseren Veranschaulichung finden sich in der Abbildung alle Programme, die von mindestens zwei Designern genannt wurden. CAD-Software mit nur einer Nennung wurde unter „Andere“ zusammengefasst.

Es wird deutlich, dass Designer in aller Regel auf mehrere Tools zurückgreifen. Die vier am häufigsten verwendeten Programme (OpenSCAD, Blender, Tinkercad und Meshmixer) stehen allesamt kostenfrei zur Verfügung. Nur wenige Designer greifen auf kostenpflichtige, professionelle Modellierungssoftware wie SolidWorks, AutoCAD oder Inventor zurück.

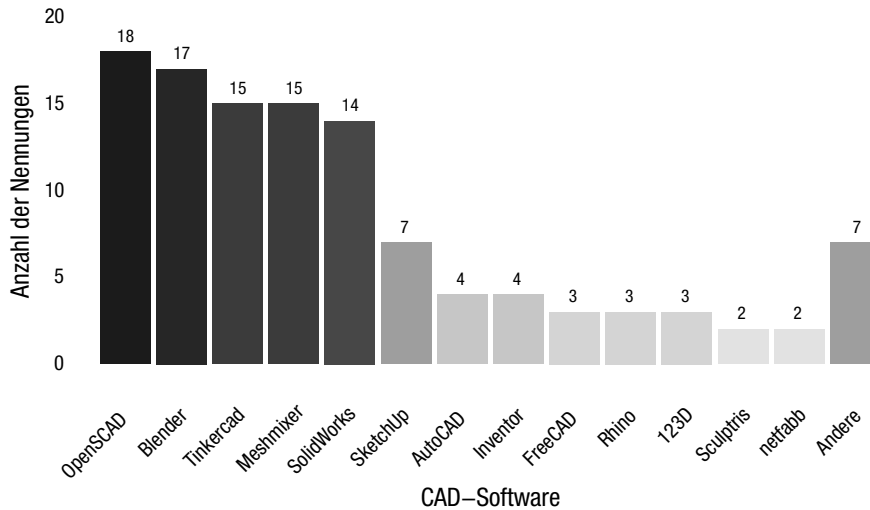


Abbildung 5.14: Angaben zur verwendeten CAD-Software.

5.4.4 Person: Freies Wissen aus Überzeugung

Das grundlegende Prinzip, das offene Online-Communities charakterisiert, ist der freie Austausch von Wissen (von Hippel und von Krogh, 2003, 2006; Cheliotis et al., 2007). Die Plattform Thingiverse trägt aktiv zum Teilen bei, da sie die Kompatibilität der Designs aus zwei Perspektiven begünstigt. Neben der technologischen Kompatibilität, die durch die Verwendung des STL- und OpenSCAD-Dateiformats gegeben ist, wird die rechtliche Kompatibilität der Designs durch die Verwendung offener Lizenzen sichergestellt. Die Interviews zeigen, dass sich bei den Designern, die ihre Modelle wieder unter offenen Lizenzen zur Verfügung stellen, unterschiedliche Motive für dieses Verhalten unterscheiden lassen. Auf Basis dieser Beweggründe lassen sich drei Typen von Designern unterscheiden. Tabelle 5.18 veranschaulicht die drei Typen anhand repräsentativer Zitate.

- Für den *Pragmatiker* steht die Einfachheit der Verwendung im Vordergrund. Da alle Things unter offenen Lizenzen stehen, können die verfügbaren Modelle ohne aufwendige Recherche zu Lizenzinformationen schnell und einfach genutzt werden. Ebenso simpel und unkompliziert ist es, die eigenen Modelle wieder entsprechend zu kennzeichnen und in die Plattform einzupflegen.
- Der *Realist* handelt gemäß den Richtlinien und Gepflogenheiten der Plattform. Er hält sich dabei strikt an die geltenden Lizenzbedingungen. Veröffentlicht er

einen Remix, hält er sich an die Regeln und gibt seine Quellen selbstverständlich an. Dasselbe Verhalten erwartet er auch von Designern, die auf seine Modelle zurückgreifen.

- Der *Idealist* glaubt an den freien Austausch von Wissen. Er handelt aus der Überzeugung heraus, dass das Teilen dazu beiträgt, die Plattform und Community weiter zu bringen. Ihm geht es weniger um die einfache Verfügbarkeit oder die Lizenzbedingungen, sondern vielmehr um den zugrunde liegenden Gedanken.

Tabelle 5.18: Repräsentative Zitate zum Merkmal „freier Austausch von Wissen“.

Typ	Zitat
Pragmatiker	„Thingiverse does make it very easy to share designs. I think this makes people willing to share their models and give credit to the ones they remixed from.“ (hermanrock)
	„It’s right there, it’s a quick and easy thing just to click what you based your designs on.“ (chemteacher628)
Realist	„I like to follow the rules and respect the copyrights and respect the license.“ (ModernGnome)
	„And of course if you stick to the rules of the licenses you give them credit, but obviously people are going to give you credit for that as well.“ (TimEdwards) „Others have created objects and designs that I have directly benefit from so I am returning the curtsey by making my designs available for others to do likewise.“ (ericgus)
Idealist	„I feel making these things available to the public at no cost really helps make the world a little better for everyone. We all benefit from a rich public domain.“ (Bluebie)
	„I like open licenses and what they represent. I think that open licenses are a significant contribution to the world knowledge.“ (calderonf)
	„The 3D printing movement is all about open source. [...] It’s open source thinking that accelerated 3D printing and has created so much innovation—imagine where we’d be as a race if other industries embraced open source.“ (Galaxius)
	„I believe in sharing—if we all share everything, we could all have everything.“ (KG1610)
	„I believe that when we create knowledge, we should share it with the world so that other people can build on what we have done. In this way we move forward faster to new and better things.“ (mathgrrl)

5.5 Diskussion

Um die quantitativ erzielten Ergebnisse in einem neuen Kontext zu bestätigen und den Prozess der Wiederverwendung zur Innovation qualitativ zu untersuchen, wurden Interviews mit mehr als 75 Thingiverse-Designern durchgeführt. In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die Implikationen der durchgeführten Untersuchung diskutiert und Einschränkungen und Perspektiven für die weitere Forschung erläutert.

5.5.1 Implikationen für die Forschung

Das theoretische Konzept hinter der Wiederverwendung von bestehendem Wissen wird in der Literatur als „*knowledge reuse*“ bezeichnet (Markus, 2001; Majchrzak et al., 2004). Bisher werden diesbezüglich drei grundlegende Prozesse der Wiederverwendung unterschieden (Majchrzak et al., 2004; Kyriakou et al., 2017): Wiederverwendung zur Replikation („reuse for replication“), Innovation („reuse for innovation“) und Anpassung („reuse for customization“). Im Fokus dieser Studie steht der für Maker zentrale KRI-Prozess.

5.5.1.1 Entscheidungskriterien

Majchrzak et al. (2004) beschreiben drei unterschiedliche Kriterien, die bei der Entscheidung für einen KRI-Prozess eine wesentliche Rolle spielen: Anpassbarkeit, Relevanz und Glaubwürdigkeit. Bei den von den Autoren untersuchten Fällen handelt es sich jeweils um Projekte einer Forschungseinrichtung der NASA (Majchrzak et al., 2004). Der Kontext der Untersuchung kann deshalb, der Unternehmens- und Wissenschaftsdomäne zugeschrieben werden. Majchrzak et al. (2004) motivieren deshalb in zukünftigen Forschungsvorhaben die Übertragbarkeit der Ergebnisse und Thesen auf andere Domänen und Kontexte zu untersuchen.

Mithilfe der Interviews konnte gezeigt werden, dass die genannten Kriterien auch innerhalb der Plattform Thingiverse eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für einen Remix-Prozess spielen. Die grundlegenden Entscheidungskriterien für einen KRI-Prozess finden sich auch in nicht-kommerziellen, offenen Plattformen.

- *Anpassbarkeit*

Die Anpassbarkeit der Plattform ist auf die rechtliche und technologische Kompatibilität aller Modelle der Plattform zurückzuführen. Die Verwendung offener Lizenzen leistet einen entscheidenden Beitrag aus rechtlicher Sicht. Da es sich bei den Things um digitale Modelle handelt, sind diese per se form- bzw. veränderbar und interaktiv in dem Sinne, dass Änderungen in Echtzeit nachverfolgt werden können (Henfridsson und Bygstad, 2013; Kyriakou et al., 2017).

- *Relevanz*

Ein zweiter wichtiger Aspekt ist die Beurteilung der Relevanz einer gefundenen Lösung (Szulanski, 2000; Majchrzak et al., 2004). Die Analyse der Interviews hat gezeigt, dass Designer bei der Beurteilung der Dienlichkeit einer gefundenen, potentiellen Lösungsidee in vielen Fällen die Anzahl der Downloads als Entscheidungskriterium mit einbeziehen.

- *Glaubwürdigkeit*

Die Glaubwürdigkeit beschreibt, wie valide und nachvollziehbar eine gefundene Idee ist und ob diese repliziert werden kann (Markus, 2001; Majchrzak et al., 2004). Auch innerhalb von Thingiverse spielt die Praxistauglichkeit bzw. Machbarkeit für die Nutzer eine wichtige Rolle. Sind für die Beurteilung der Relevanz lediglich digitale Aufmerksamkeits- und Erfolgsmetriken, insbesondere Downloads, relevant, so greifen die Designer bei der Machbarkeit auf die Anzahl der gemeldeten Makes und die Kommentare von anderen Nutzern zurück.

5.5.1.2 Remix-Prozesse

Mithilfe der fallübergreifenden Analyse der Interviews konnten *sechs* unterschiedliche Remix-Prozesse identifiziert werden: *Spaß, Fortschritt, Inspiration, Voraussetzung, Effizienz* und *Lernen*. Dies steht in starkem Kontrast zur bisherigen Theorie, in der lediglich *ein* mehrstufiger Prozess beschrieben wird, der als „knowledge reuse for innovation“ bezeichnet wird (Majchrzak et al., 2004). Eine Begründung für diese Diskrepanz liegt im jeweiligen Untersuchungsgegenstand. Majchrzak et al. (2004) betrachten umfangreiche, kommerzielle Forschungsprojekte. Da diese stark auf das zu erzielende Ergebnis fokussiert sind, spielen Handlung und nachgelagerte Folgen keine

Rolle bei der Motivation des Prozesses. Die in der vorliegenden Studie interviewten Designer beschäftigen sich freiwillig und aus nicht-kommerziellen Interessen mit der Modellierung dreidimensionaler Designs. Ihre Motivation ist vielschichtiger und umfasst neben dem Ergebnis auch die Handlung und Folgen. Bedingt durch die eindimensionale Sichtweise auf die Motivation eines KRI-Prozesses, lassen sich nur drei der identifizierten Prozesse auf die bisherige Theorie zurückführen. Im weiteren Verlauf wird ausgeführt, in welchem Zusammenhang die Ergebnisse zur bestehenden Theorie stehen und warum diese insbesondere im Bezug auf freiwillige, nicht-kommerzielle KRI-Prozesse erweitert werden muss – wie sie beispielsweise bei Makern zu finden sind.

Die Ergebnisse der Interview-Studie ergänzen die bestehende Forschung dahingehend, dass durch die Befragung der Designer sechs unterschiedliche Remix-Prozesse identifiziert werden konnten. Situation und Umstände sind entscheidend, wenn es darum geht den jeweiligen Prozess zu identifizieren. Die Befragung hat gezeigt, dass ein Prozess anhand von drei verschiedenen Merkmalen beschrieben werden kann. Hierbei handelt es sich um die *Fähigkeiten* des Designers, den *Auslöser* des Remix-Prozesses und die *Motivation*, die den Designer im jeweiligen Prozess antreibt. Die Ergebnisse decken sich mit dem grundlegenden theoretischen Modell der Motivationspsychologie (Heckhausen und Heckhausen, 2010). Die relevanten Faktoren lassen sich demnach in personenbezogene und situationsbezogene aufgliedern (Heckhausen und Heckhausen, 2010). Es ist nachvollziehbar, dass sich die Fähigkeiten auf die Person des Designers beziehen, der Auslöser des Prozesses hingegen der jeweiligen Situation zuzuordnen ist. Aus der Interaktion zwischen Person (Fähigkeiten) und Situation (Auslöser) resultiert schließlich die Motivation des Prozesses. Wie beschrieben, wurde bei bisherigen Betrachtungen als Motivation lediglich das *Ergebnis* herangezogen. Die Ergebnisse dieser Studie belegen jedoch, dass die *Handlung* und potentielle nachgelagerte *Folgen* ebenso die Motivation für einen Prozess darstellen können. In Summe lassen sich sechs eigenständige Prozesstypen erkennen: Spaß, Fortschritt, Inspiration, Voraussetzung, Effizienz und Lernen.

Bisher wird davon ausgegangen, dass drei Bedingungen erfüllt sein müssen, damit eine Wiederverwendung von Wissen in Betracht gezogen wird (Majchrzak et al., 2004):

1. Die Überzeugung, dass brauchbare Ideen gefunden werden können.
2. Mit dem derzeitigen Wissensstand lässt sich das Problem nicht lösen.

3. Das zu lösende Problem verlangt nach einer neuen Perspektive.

Die Befragung zeigt die Bedeutung, die die Designer dem Remixen im Schaffensprozess beimessen. Insbesondere Designer mit geringen Fähigkeiten sind davon überzeugt, dass sie von den bestehenden Things erfahrener Designer profitieren können. Weiterhin kann festgehalten werden, dass das Konzept der Wiederverwendung zur Innovation auch über die Plattform hinaus Anwendung findet. Die Interviews zeigen außerdem, dass sich bei den Designern, die ihre Modelle wieder unter offenen Lizenzen zur Verfügung stellen, drei unterschiedliche Stereotypen unterscheiden lassen: *Pragmatiker*, *Realisten* und *Idealisten*. Vor allem die Aussagen der Idealisten unterstreichen, dass nicht nur die Überzeugung besteht, dass brauchbare Ideen gefunden werden können, sondern auch, dass eigene Lösungsansätze wieder zur Verfügung gestellt werden sollten.

Der zweite Faktor bezieht sich auf das Wissen bzw. die Fähigkeiten. Der Remix-Prozess *Voraussetzung* zeigt, dass viele Designer mit relativ eingeschränkten Fähigkeiten und ohne das entsprechende CAD-Know-how auf das Remixen angewiesen sind, um ihr jeweiliges Problem zu lösen und ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Im Kontrast zu der in der Literatur propagierten Notwendigkeit stehen jedoch die übrigen Prozesstypen. In all diesen fünf unterschiedlichen Prozessen setzen Designer auf bestehendes Wissen, obwohl sie in der Lage wären, den entsprechenden Prozess eigenständig anzugehen.

Der Remix-Prozess *Inspiration* ist vermutlich der allgemeinste unter allen Prozessen. Sowohl Designer mit geringen als auch mit ausgeprägten Fähigkeiten suchen auf der Plattform nach neuen Perspektiven – egal, ob aus reiner Neugierde oder auf der Suche nach einer Lösung für ein Problem. Die letzte der drei genannten Bedingungen, die neue Perspektive, ist charakteristisch für den Inspirations-Prozess. Die identifizierten Prozesse zeigen jedoch auch, dass nicht zwangsläufig eine neue Perspektive notwendig ist. So greift man beispielsweise im Effizienz-Prozess bewusst auf bestehende Bausteine zurück, um Zeit einzusparen.

In der Untersuchung von Majchrzak et al. (2004) wurden sechs Projekte innerhalb einer Forschungseinrichtung untersucht. Es ist deshalb wenig verwunderlich, dass sich alle dort untersuchten Projekte jeweils mit der Lösung eines konkreten Problems befassen. Die von den Autoren abgeleiteten notwendigen Bedingungen für einen KRI-Prozess zeigen, dass die Projekte konsequent auf ein zu erzielendes Ergebnis hin ausgerichtet sind – das Ergebnis selbst stellt also die Motivation dar. Infolgedessen

wurden Prozesse, die durch Handlung oder Folgen motiviert werden, nicht berücksichtigt. Die durchgeführte Interview-Studie zeigt, dass in freien, nicht-kommerziellen Communities jedoch auch diese beiden Motivationen vorliegen. Viele der Designer engagieren sich in ihrer Freizeit freiwillig auf der Plattform. Dass alleine die Handlung selbst bzw. der an der Tätigkeit empfundene *Spaß* im Vordergrund stehen kann, ist aus anderen Untersuchungen in nicht-kommerziellen Kontexten bekannt. Neben utilitaristischen Beweggründen wird in der gegenwärtigen DIY-Bewegung vor allem auch der Spaß an der Tätigkeit hervorgehoben (Hertz, 2011; Powell, 2012). Ähnliche Motivationen sind auch aus der Untersuchung der Beteiligung an OSS-Projekten bekannt (von Hippel und von Krogh, 2003; Luthiger und Jungwirth, 2007; Osterloh und Rota, 2007; von Krogh et al., 2012). Ein Prozess, der durch die zu erwartenden Folgen motiviert wird, ist der Lernprozess. Auch dieses Motiv findet sich in einer Vielzahl von Untersuchungen der OSS-Domäne (Hars und Ou, 2002; von Hippel und von Krogh, 2003; Oreg und Nov, 2008; von Krogh et al., 2012).

5.5.2 Implikationen für die Praxis

Nicht nur für Theorie und Forschung, sondern insbesondere auch für die Praxis sind die Ergebnisse dieser qualitativen Interview-Studie von Bedeutung. Unter den zahlreichen Anknüpfungspunkten sollen die folgenden drei, aufgrund ihrer besonderen Relevanz, erläutert werden:

- *Konzept: Neue Nutzungspotentiale*

Der Großteil der Designer hat das Konzept des Remixens bereits verinnerlicht und wendet dieses aktiv an – auch über die Plattform hinaus. Insbesondere für Jugendliche ist der Remix eine Form eigene Ideen auszudrücken (Koman, 2005; Knobel und Lankshear, 2008). Um das Remixen in neuen Kontexten zu ermöglichen und *neue Nutzungspotentiale* zu erschließen, ist es wichtig die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen. Grundlage der Wiederverwendung sind Ideen, Informationen, Dinge und Wissen – vor allem, wenn diese unter freien Lizenzen zur Verfügung stehen. Besonders hier kann die Wissenschaft mit gutem Beispiel vorangehen, indem mehr Forschungsergebnisse frei zugänglich gemacht werden. Dass nicht nur potentielle Wiederverwender hiervon profitieren, zeigen Studien, die zu dem Ergebnis kommen, dass Open-Access-Artikel häufiger zitiert werden als vergleichbare, nicht frei zugängliche Artikel im selben Journal (Antelman, 2004; Eysenbach, 2006).

- *Fähigkeiten: Wegweiser für Prozesse*

Die Analyse der Interviews hat gezeigt, dass sich sechs unterschiedliche Remix-Prozesse voneinander unterscheiden lassen. Plattformen und Communities können sich dies zunutze machen, um unterschiedliche Nutzer in ihrem jeweiligen Prozess zu unterstützen. Während einige Prozesse unabhängig von den Fähigkeiten sind, so hat sich gezeigt, dass hauptsächlich Nutzer mit ausgeprägten Fähigkeiten einen Fortschritts-Prozess durchlaufen. Plattformen bieten die Möglichkeit, erfahrenen Nutzern fehlerhafte Inhalte anzuzeigen und um Hilfe zu bitten. Auf diese Weise kann eine Plattform selbst den initialen Auslöser setzen und den Prozess zur Weiterentwicklung, Verbesserung und Optimierung von Inhalten anstoßen. Auch das Wissen über geringe Fähigkeiten eines Nutzers kann einer Plattform als *Wegweiser für Prozesse* dienen. Beispielsweise remixen wenig erfahrene Nutzer, um zu lernen. Plattformen können Anfänger bei diesem Lernprozess unterstützen und Tutorials um bestehende Inhalte konzipieren.

- *Metadaten: Relevanz und Glaubwürdigkeit*

Nutzer ziehen unterschiedliche Metadaten heran – je nachdem, ob sie wissen wollen wie gut eigene Designs bei anderen Nutzern ankommen, oder ob sie fremde Designs evaluieren. Dashboards, die relevante Informationen zu eigenen Inhalten zusammenfassen, sollten deshalb in jedem Falle Aufmerksamkeitsmetriken, wie beispielsweise Likes, darstellen. Bei der Suche nach wiederverwendbaren Inhalten hingegen, stehen für Nutzer *Relevanz und Glaubwürdigkeit* im Fokus. Auch hier gilt es zu beachten, dass unterschiedliche Metadaten herangezogen werden. Um die Relevanz zu bewerten, ziehen die interviewten Designer die Anzahl der Downloads als Entscheidungskriterium heran. Bei der Beurteilung der Glaubwürdigkeit, die insbesondere in Maker-Communities mit der Praxistauglichkeit bzw. Machbarkeit gleichgesetzt werden kann, zeigt sich eine „digitale Kluft“. Hier verlassen sich die Nutzer auf „physische“ Metadaten, wie die Anzahl der tatsächlichen Makes oder die Kommentare von anderen Nutzern.

5.5.3 Einschränkungen und zukünftige Forschung

Die Interviews mit Designern wurden einmalig durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass es nicht möglich ist, die *Entwicklung* der Designer zu verfolgen und diese in die Untersuchung mit einfließen zu lassen. Die Studie hat sich vornehmlich mit den verschiedenen Remix-Prozessen befasst. Nicht mit einbezogen wurde der jeweilige *Output* der Prozesse, die Remixe bzw. Things, die entstehen. Denkbar ist, dass beispielsweise ein Zusammenhang zwischen dem Prozess und dem Erfolg eines Things besteht. Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass die Designer jeweils über abgeschlossene, *erfolgreiche Remix-Prozesse* berichtet haben. Obwohl keiner der Designer explizit darauf hingewiesen hat, ist davon auszugehen, dass in der Praxis auch Remixe existieren, die im Laufe des Prozesses abgebrochen werden. Auch diese Prozesse sollten nicht außer Acht gelassen werden.

Die Analyse der Interviews hat gezeigt, dass nicht nur ein genereller KRI-Prozess existiert, sondern sechs verschiedene Prozesse unterschieden werden können. Eine aktuelle Studie von Kyriakou et al. (2017) kommt zu dem Ergebnis, dass eine weitere grundlegende Art des „knowledge reuse“ existiert – der KRC-Prozess. Zukünftige Forschung kann zeigen, ob sich auch dieser allgemeine Prozess weiter aufschlüsseln und segmentieren lässt.

Fazit und Ausblick

„Wissen ist das einzige Gut, das sich vermehrt, wenn man es teilt.“

Marie von Ebner-Eschenbach

Dieses Kapitel fasst die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse der Arbeit zusammen. Außerdem werden Limitationen und offene Fragestellungen im abschließenden Ausblick diskutiert. Diese können als Anknüpfungspunkte für künftige Forschungsarbeiten dienen.

6.1 Ergebnisse der Arbeit

Um eine Basis für die weiterführende Betrachtung und Diskussion zu schaffen, wurde die additive Fertigung zunächst aus der technologischen Perspektive betrachtet. Die durchgeführte Bestimmung, Einordnung und Abgrenzung relevanter Begriffe bildet die Grundlage einer differenzierten Analyse. Die verschiedenen Fertigungsverfahren, denen alle das gleiche Funktionsprinzip zugrunde liegt, wurden in Abhängigkeit des physikalischen Verfahrens der Schichterzeugung klassifiziert. Den abgeleiteten fünf generischen Verfahrensklassen wurden anschließend einzelne patentierte Prozesse zugeordnet. Die erarbeitete Systematik stellt die fünf grundlegenden Verfahren zur additiven Fertigung tabellarisch gegenüber und listet deren spezifische Vor- und Nachteile auf.

Bei der additiven Fertigung handelt es sich um eine aufstrebende Industrie, weshalb es notwendig ist, verschiedene Aspekte bei der wirtschaftlichen Betrachtung mit einzubeziehen. Zunächst wurde die Entwicklung der Wertschöpfungskette und die darin involvierten Stakeholder skizziert und analysiert. Mithilfe der Erkenntnisse zur Technologielandschaft aus Kapitel 2 konnte gezeigt werden, dass es sich bei industriellen additiven Fertigungssystemen und Desktop-3D-Druckern um zwei unterschiedliche Klassen handelt, die separat betrachtet werden müssen. Eine relativ neue Entwicklung ist das Aufkommen von Online-Plattformen, die als Intermediäre zwischen den klassischen Parteien und dem Endkunden agieren und aus Sicht der Letzteren die Komplexität am Markt reduzieren. Aus diesem Grund wurden Online-Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung untersucht. Die Geschäftsmodelle lassen sich anhand der Kriterien „Inhalte“ und „Produktion“ unterscheiden. In Summe ergeben sich sechs unterschiedliche Geschäftsmodelle, die in der Arbeit jeweils systematisch visualisiert und erläutert werden. Ein weiteres Ergebnis ist die Identifikation und Diskussion von sieben technischen Charakteristika, die aus der bestehenden Literatur abgeleitet wurden. Festgehalten werden kann, dass der Gestaltungsspielraum von Fertigungssystemen durch die additive Fertigung hinsichtlich Komplexität, Effizienzsteigerung und Variantenvielfalt erweitert wird. Die gewonnenen Erkenntnisse werden außerdem genutzt, um zwei Vertreter der Branche exemplarisch mithilfe von Fallstudien zu analysieren. Im Fokus stehen der 3-seitige Markt Shapeways und der offene Modellkatalog Thingiverse.

Die Analyse der Online-Plattform und -Community Thingiverse hat gezeigt, dass dort eine Vielzahl an druckbaren digitalen 3D-Modellen veröffentlicht, geteilt und remixt wird. Beim Remixen wird bereits bestehendes Wissen wiederverwendet, um etwas Neues zu erschaffen. Das Phänomen ist ursprünglich aus der Musikwelt bekannt, wird heute jedoch, im Zuge des Aufkommens offener Online-Plattformen, beim Entwurf beliebiger physischer Dinge eingesetzt. Bemerkenswert ist insbesondere, dass die Hobbyisten ihre Ideen, Inspirationsquellen und Lösungsansätze offenlegen und dadurch nachvollziehbar machen. Die Literaturanalyse hat ergeben, dass sich bisherige Studien und Untersuchungen zur Thematik vier unterschiedlichen Forschungsfeldern widmen: Bedeutung, Prozess, Plattform und Person.

Die Remix-Aktivitäten innerhalb von Thingiverse wurden daraufhin anhand eines umfangreichen, sechs Jahre umfassenden Datensatzes explorativ analysiert. Die Ergebnisse bestätigen die Bedeutung der Remixe in Bezug auf die Anzahl, Downloads

und Makes von Things. Die Analyse der Remix-Beziehungen hat ergeben, dass neben der einfachen linearen Evolution acht weitere, zusammengesetzte Remix-Muster existieren. Diese lassen sich in zwei grundlegend verschiedene Klassen unterteilen: konvergente Remixe, für die Remix-Beziehungen mit mehreren „Elternteilen“ charakteristisch sind und divergente Remixe, die sich durch Beziehungen zu mehreren „Kindern“ auszeichnen. Alle Muster wurden visualisiert, beschrieben, formalisiert und quantifiziert. Der durch Remixe induzierte Wissenstransfer von einer Kategorie in eine andere zeigt, dass der Fluss nicht wechselseitig ausbalanciert ist. Auf der einen Seite existieren Spender-Kategorien, die viel Inspiration für Remixe in anderen Kategorien liefern, selbst jedoch nur wenig Zufluss erfahren. Empfänger-Kategorien hingegen greifen häufig auf Inspiration aus anderen Kategorien zurück, sind selbst jedoch nur wenig inspirierend für andere. Da die Unterstützung und Förderung der Nutzeraktivität zu den Kernaufgaben einer jeden Online-Plattform gehört, wurden Features untersucht, die das Remixen erleichtern. Customizer werden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit selbst wieder remixt, da diese einfach innerhalb der Plattform angepasst werden können. Ein Remix eines Customizers wiederum ist bereits zu speziell, um als geeigneter Input für weitere Remixe zu dienen. Die Komplexität eines jeden Remixes wurde mithilfe der Dimensionen „Abstammung“ und „Elternkategorie“ bestimmt. Die Ergebnisse, die in einer Komplexitätsmatrix zusammengefasst sind, zeigen, dass sowohl sehr einfache als auch äußerst komplexe Remixe gefunden werden können. Der letzte untersuchte Aspekt ist die Nutzerschaft der Plattform. Nutzer lassen sich hierbei verschiedenen Stereotypen zuordnen: Niemals-Remixer, die keinen Gebrauch von der Möglichkeit des Remixens machen und Immer-Remixer, die all ihre Designs auf Basis anderer Things entwerfen. Auch in Bezug auf die Nutzung des Customizer-Features lässt sich die Nutzerbasis zweiteilen: Ein Teil der Designer nutzt überhaupt keine Customizer, der andere verlässt sich gänzlich auf die verfügbare Funktionalität der Anpassung.

Diese Erkenntnisse werden anschließend genutzt, um eine umfassende Taxonomie der Nutzerbasis anhand der Kriterien Erfahrung, Differenziertheit und Stil zu erstellen. Neben praktischen Implikationen erlauben die Ergebnisse der explorativen Studie die abschließende Formulierung von fünf Thesen zu Bedeutung, Mustern, Kategorieübergängen, Plattform-Features und Nutzergruppen.

Um das Phänomen „Remix“ qualitativ analysieren zu können, wurden Interviews mit insgesamt 78 Designern der Plattform Thingiverse durchgeführt. Auch

die Leitfaden-Interviews orientieren sich an den zuvor identifizierten vier Remix-Forschungsfeldern. Die fallübergreifende Auswertung liefert Ergebnisse, welche die bisherigen Erkenntnisse sowohl unterstützen als auch erweitern. Das grundlegende Prinzip, das offene Online-Communities charakterisiert, ist der freie Austausch von Wissen. Die Interviews zeigen, dass sich bei den Designern, die ihre Modelle wieder unter offenen Lizenzen zur Verfügung stellen, drei unterschiedliche Typen in Bezug auf die Verwendung dieser Lizenzen unterscheiden lassen: Pragmatiker, Realisten und Idealisten. Die Befragung der Designer unterstreicht die Bedeutung des Remixens im Schaffensprozess. Tendenziell messen vor allem Designer mit geringen Fähigkeiten dem Remixen eine hohe Bedeutung bei. Bemerkenswert ist, dass zahlreiche Designer das Konzept des Remixens bereits verinnerlicht haben und dieses, auch über die Plattform hinaus, in verschiedensten Kontexten einsetzen. Ein weiterer Forschungsbeitrag der qualitativen Studie besteht in der Identifikation, Erläuterung und Veranschaulichung von sechs unterschiedlichen Remix-Prozessen: *Spaß*, *Fortschritt*, *Inspiration*, *Voraussetzung*, *Effizienz* und *Lernen*. Relevant für die Unterscheidung sind die Fähigkeiten des Designers, der Auslöser des Remix-Prozesses und die Motivation, die den Designer antreibt. Dieses Ergebnis erweitert die bisherige Theorie, in der lediglich ein Wiederverwendungs-Innovationsprozess beschrieben wird. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass drei Kriterien bei der Entscheidung für das Remixen eine Rolle spielen: Anpassbarkeit, Relevanz und Glaubwürdigkeit. Für die Beurteilung der Relevanz sind lediglich digitale Aufmerksamkeits- und Erfolgsmetriken, insbesondere die Anzahl der Likes, relevant. Bei der Evaluation der Praxistauglichkeit bzw. Machbarkeit hingegen, greifen die Designer auf die Anzahl der gemeldeten Makes und die Kommentare von anderen Nutzern zurück.

6.2 Limitationen und weiterer Forschungsbedarf

Aus den Ergebnissen der Arbeit ergeben sich zahlreiche Implikationen für Theorie und Praxis. Dennoch unterliegen die durchgeführten Untersuchungen einigen Einschränkungen, die wiederum Perspektiven für weitere Forschung eröffnen:

- *Hybride Nutzung der Technologie*

Neben den Alleinstellungsmerkmalen der additiven Fertigung, wurden auch spezifische Nachteile der Verfahren beschrieben. Zu den Einschränkungen gehören beispielsweise die Geschwindigkeit sowie die Genauigkeit und Oberflächengüte

der gefertigten Objekte. Oftmals sind deshalb vor- und nachgelagerte, teils manuelle, Prozessschritte für die Reinigung und Prüfung notwendig. Hybride Fertigungsanlagen, die moderne additive mit traditionellen subtraktiven Verfahren kombinieren, stellen deshalb eine vielversprechende Möglichkeit dar, die Stärken beider Technologien zu bündeln. In der Praxis werden erste Anlagensysteme erprobt, in denen komplexe Objekte mit integrierter Funktionalität mittels selektivem Laserschmelzen zunächst additiv gefertigt werden. Die gefertigten Teile werden anschließend, in der selben Anlage, mithilfe einer Hochgeschwindigkeitsfräse automatisiert, nachbearbeitet. Aus diesen Gründen sollte die hybride additive Fertigung bei zukünftigen Betrachtungen der Technologie mit in Betracht gezogen werden.

- *Diffusion und Adoption im Massenmarkt*

Die Verkaufszahlen von einfachen Desktop-3D-Druckern für den Heimgebrauch sind in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Dennoch handelt es sich bei den Käufern größtenteils um technisch interessierte Innovatoren und Visionäre. Ungeachtet der Einblicke, die anhand der Untersuchung dieser Personengruppe gewonnen werden konnten, stellt sich deshalb weiterhin die Frage, wie bzw. ob diese Art der Produktion die breite Masse der Haushalte erreichen kann. Eine objektive Auseinandersetzung mit dem von Endkunden wahrgenommenen, relativen Nutzen, kann dazu beitragen, die Erwartungen der Kunden und die Entwicklung der Nachfrage nach Desktop-3D-Druckern besser einzuschätzen.

- *Geschäftsmodellinnovationen*

In der Arbeit wurden Online-Geschäftsmodelle im Kontext der additiven Fertigung systematisch erläutert. Der Fokus der Untersuchung lag dabei auf bestehenden Geschäftsmodellen. Dabei sind es insbesondere neue, innovative Geschäftsmodelle, die für zahlreiche unternehmerische Erfolgsgeschichten der vergangenen Jahre verantwortlich sind. Aus den technischen Charakteristika der Technologie und dem bestehenden Gestaltungsspielraum von Fertigungssystemen ergeben sich drei Potentiale: Komplexität, Effizienzsteigerung und Variantenvielfalt. Diverse Beispiele zeigen, dass bereits neuartige Produkte existieren, die den Potentialen zugeschrieben werden können. Es stellt sich deshalb die Frage, ob diese nicht auch die Basis für Geschäftsmodellinnovationen bilden können.

- *Analysen im zeitlichen Verlauf*

Die explorative Analyse basiert auf einer Momentaufnahme der Plattform Thingiverse. Die zeitliche Abfolge und damit auch der kausale Zusammenhang zwischen dynamischen Informationen, wie beispielsweise der Anzahl an Downloads, Makes und Remixen eines Things, kann nicht hinreichend genau rekonstruiert werden. Dies hat zur Folge, dass beispielsweise keine weitreichenden Aussagen zum Erfolg von Things bzw. Remixen getroffen werden können. Eine Möglichkeit, dieser Einschränkung des aktuellen Datensatzes zu begegnen, besteht in einer kontinuierlichen Erfassung der Daten. Auf diese Weise kann nachvollzogen werden, ob ein Thing remixt wurde, weil es zum Beispiel viele Downloads besitzt, oder ob die Popularität eines Remixes auf die jeweiligen „Eltern“ Einfluss nimmt.

- *Beziehung zwischen Eltern und Remixen*

Die Bestimmung der Komplexität eines Remixes basiert auf Metadaten zur Abstammung und Anzahl der „Elternteile“. Dieses Vorgehen ermöglicht zwar eine objektive Klassifikation, repräsentiert die tatsächliche Schöpfungshöhe eines Things in der Realität jedoch nicht immer genau. Um weitere Einblicke in das Verhältnis zwischen „Eltern“ und ihren Remixen zu erhalten, ist eine manuelle Codierung der Remix-Beziehungen unabdingbar. Um die Beziehung bzw. den „Verwandtschaftsgrad“ zu codieren, bietet sich beispielsweise eine Untersuchung der Unterschiede in Form oder Funktion an. Wurde beispielsweise eine Tasse remixt ist für die Evaluation der Originalität wichtig, ob der jeweilige Remix lediglich einen größeren Henkel (Form) besitzt, oder ob die Tasse dahingehend angepasst wurde, dass diese nun als Blumenvase (Funktion) verwendet werden kann. Eine weitere Beziehung, die in der Arbeit thematisiert wurde, ist der jeweilige Remix-Prozess, aus dem ein neues Thing hervorgeht. Zukünftige Forschungsvorhaben können hier anknüpfen und untersuchen, welche Auswirkungen der Prozess auf den jeweiligen Remix hat.

- *Kommentare als Kommunikationsform*

Obwohl die befragten Designer häufig auf den Vorleistungen anderer Designer aufbauen, arbeiten diese in aller Regel alleine an neuen Designs. Eine Form der Kommunikation zwischen Designern stellen die Kommentare dar, die auf den Thing-Detailseiten abgegeben werden können. Bisher wurde lediglich die

Anzahl der Kommentare erfasst, nicht jedoch die Inhalte der Kommentare und die darauf basierende Kommunikation zwischen Designern. Dass Kommentare eine zentrale Rolle einnehmen, zeigt auch die Tatsache, dass diese von Nutzern als Anhaltspunkt für die Praxistauglichkeit eines Things herangezogen werden. Aufgrund dieser Gegebenheit sollte den Kommentaren in Plattformen bei weiteren Untersuchungen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

- *Transfer der Ergebnisse*

Im Rahmen der Untersuchung wurde vordergründig eine offene Online-Community betrachtet. Der Großteil der interviewten Designer bezeichnet sich als Maker und identifiziert sich mit den Idealen dieser Bewegung, zu denen auch das freie Teilen von Wissen gehört. Es erscheint deshalb sinnvoll, die Erkenntnisse und Ergebnisse auf andere Domänen zu übertragen. Insbesondere die fünf erarbeiteten Thesen bergen Potential weitere Forschung zu motivieren und zu unserem Verständnis von Kreativität im digitalen Zeitalter beizutragen.

Literaturverzeichnis

- 3MF Consortium (2016). 3D Manufacturing Format: Core Specification & Reference Guide: Version 1.1. http://3mf.io/wp-content/uploads/2016/03/3MFcoreSpec_1.1.pdf. (abgerufen am 11.03.2016).
- Adler, P. S., Goldoftas, B., und Levine, D. I. (1999). Flexibility Versus Efficiency? A Case Study of Model Changeovers in the Toyota Production System. *Organization Science*, 10(1):43–68.
- Airbus Group (2016). Factory of the future: New ways of manufacturing. <https://www.airbusgroup.com/int/en/story-overview/factory-of-the-future.html>. (abgerufen am 06.07.2016).
- Airbus S.A.S. (2014). Printing the future: Airbus expands its applications of the revolutionary additive layer manufacturing process. <http://www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/printing-the-future-airbus-expands-its-applications-of-the-revolutionary-additive-layer-manufacturi/>. (abgerufen am 06.07.2016).
- Alavi, M. und Leidner, D. E. (2001). Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *MIS Quarterly*, 25(1):107.
- Albert, M. B., Avery, D., Narin, F., und McAllister, P. (1991). Direct validation of citation counts as indicators of industrially important patents. *Research Policy*, 20(3):251–259.
- Alcock, C., Hudson, N., und Chilana, P. K. (2016). Barriers to Using, Customizing, and Printing 3D Designs on Thingiverse. In *Proceedings of the 19th International Conference on Supporting Group Work (GROUP)*, Seiten 195–199, Sanibel Island, USA.
- Allen, T. J. und Henn, G. W. (2007). *The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology*. Routledge, London.

- Almeida, P. (1996). Knowledge Sourcing by Foreign Multinationals: Patent Citation Analysis in the U.S. Semiconductor Industry. *Strategic Management Journal*, 17(S2):155–165.
- Althuizen, N. und Reichel, A. (2016). The Effects of IT-Enabled Cognitive Stimulation Tools on Creative Problem Solving: A Dual Pathway to Creativity. *Journal of Management Information Systems*, 33(1):11–44.
- Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J., und Leskovec, J. (2012). Discovering Value from Community Activity on Focused Question Answering Sites: A Case Study of Stack Overflow. In *Proceedings of the 18th SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)*, Seiten 850–858, Beijing, China.
- Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. Crown Business, New York.
- Angrish, A. (2014). A Critical Analysis of Additive Manufacturing Technologies for Aerospace Applications. In *IEEE Aerospace Conference*, Seiten 1–6, Big Sky, USA.
- Antelman, K. (2004). Do Open-Access Articles Have a Greater Research Impact? *College & Research Libraries*, 65(5):372–382.
- Aragon, C. R., Poon, S. S., Monroy-Hernández, A., und Aragon, D. (2009). A Tale of Two Online Communities: Fostering Collaboration and Creativity in Scientists and Children. In Bryan-Kinns, N., Gross, M. D., Johnson, H., Ox, J., und Wakkary, R., (Hrsg.), *Proceedings of the 7th Conference on Creativity and Cognition (CC)*, Seiten 9–18, Berkeley, USA.
- Arcam AB (2016). AP&C continues to invest in powder manufacturing capacity, adds 3 more powder reactors for a total of 8. <http://mb.cision.com/Main/5885/9924577/481901.pdf>. (abgerufen am 03.03.2016).
- Arthur, W. B. (2009). *The Nature of Technology: What it Is and How it Evolves*. Penguin Press, London.
- Arts, S. und Veugelers, R. (2015). Technology familiarity, recombinant novelty, and breakthrough invention. *Industrial and Corporate Change*, 24(6):1215–1246.
- Awiszus, B., Bast, J., Dürr, H., und Matthes, K.-J., (Hrsg.) (2012). *Grundlagen der Fertigungstechnik*. Carl Hanser, München, 5. Auflage.
- Backer, F. (2016). 3D Printing Jewelry: Our Top 10 Jewelry 3D Prints 2016. *i.materialise Blog*, <https://i.materialise.com/blog/best-3d-printed-jewelry/>. (abgerufen am 05.08.2016).

- Baden-Fuller, C. und Morgan, M. S. (2010). Business Models as Models. *Long Range Planning*, 43(2–3):156–171.
- Baichtal, J. (2008). Thingiverse.com Launches A Library of Printable Objects. *WIRED*, <https://www.wired.com/2008/11/thingiversecom/>. (abgerufen am 08.04.2016).
- Bailey, P. H. und Tilley, S. (2002). Storytelling and the interpretation of meaning in qualitative research. *Journal of Advanced Nursing*, 38(6):574–583.
- Baker, T. und Nelson, R. E. (2005). Creating Something from Nothing: Resource Construction through Entrepreneurial Bricolage. *Administrative Science Quarterly*, 50(3):329–366.
- Bakos, J. Y. (1991). A Strategic Analysis of Electronic Marketplaces. *MIS Quarterly*, 15(3):295.
- Baldwin, C., Hienert, C., und von Hippel, E. (2006). How user innovations become commercial products: A theoretical investigation and case study. *Research Policy*, 35(9):1291–1313.
- Banks, J. (2013). Adding Value in Additive Manufacturing: Researchers in the United Kingdom and Europe Look to 3D Printing for Customization. *IEEE Pulse*, 4(6):22–26.
- Banse, P. und Weijmarshausen, P. (2012). Bikinis drucken [Interview]. *Digital Life Design Conference 2012 (DLD12)*, <http://www.dctp.tv/filme/dld2012-weijmarshausen>. (abgerufen am 05.08.2016).
- Bártolo, P. J. (2011). Stereolithographic Processes. In Bártolo, P. J., (Hrsg.), *Stereolithography*, Seiten 1–36. Springer US, Boston.
- Bártolo, P. J. und Gibson, I. (2011). History of Stereolithographic Processes. In Bártolo, P. J., (Hrsg.), *Stereolithography*, Seiten 37–56. Springer US, Boston.
- Barua, A., Thomas, S. W., und Hassan, A. E. (2014). What are developers talking about? An analysis of topics and trends in Stack Overflow. *Empirical Software Engineering*, 19(3):619–654.
- Bastian, M., Heymann, S., und Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM)*, San Jose, USA.
- Bateman, S., Gutwin, C., und Nacenta, M. (2008). Seeing Things in the Clouds: The Effect of Visual Features on Tag Cloud Selections. In *Proceedings of the 19th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia (HT)*, Seiten 193–202, Pittsburgh, USA.

- Baumers, M., Dickens, P. M., Tuck, C. J., und Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: Machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change*, 102:193–201.
- Baxter, P. und Jack, S. (2008). Qualitative Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. *The Qualitative Report*, 13(4):544–559.
- Bayus, B. L. (2013). Crowdsourcing New Product Ideas over Time: An Analysis of the Dell IdeaStorm Community. *Management Science*, 59(1):226–244.
- Bazeley, P. und Jackson, K. (2013). *Qualitative Data Analysis with NVivo*. SAGE Publications, Los Angeles, 2. Auflage.
- Bazeley, P. und Richards, L. (2000). *The NVivo qualitative project book*. SAGE Publications, London.
- Benbasat, I., Goldstein, D. K., und Mead, M. (1987). The Case Research Strategy in Studies of Information Systems. *MIS Quarterly*, 11(3):369.
- Benkler, Y. (2002). Coase’s Penguin, or, Linux and “The Nature of the Firm”. *The Yale Law Journal*, 112(3):369.
- Benkler, Y. (2009). Internet and Society: Sharing, Trading, Creating Culture. *Science*, 324(5925):337–338.
- Benkler, Y. und Nissenbaum, H. (2006). Commons-based Peer Production and Virtue. *Journal of Political Philosophy*, 14(4):394–419.
- Benkler, Y., Shaw, A., und Hill, B. M. (2015). Peer Production: A Form of Collective Intelligence. In Malone, T. W. und Bernstein, M. S., (Hrsg.), *Handbook of Collective Intelligence*, Seiten 175–204. MIT Press, Cambridge.
- Benlian, A., Hilkert, D., und Hess, T. (2015). How open is this platform? The meaning and measurement of platform openness from the complementors’ perspective. *Journal of Information Technology*, 30(3):209–228.
- Berger, U., Hartmann, A., und Schmid, D. (2013). *Additive Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. Europa-Lehrmittel, Gruitzen.
- Berglund, A., Boag, S., Chamberlin, D., Fernández, M. F., Kay, M., Robie, J., und Siméon, J. (2010). XML Path Language (XPath) 2.0 (Second Edition). *W3C Recommendation*, <https://www.w3.org/TR/xpath20/>. (abgerufen am 31.08.2016).
- Berkun, S. (2010). *The Myths of Innovation*. O’Reilly, Sebastopol.

- Berman, B. (2012). 3-D Printing: The New Industrial Revolution. *Business Horizons*, 55(2):155–162.
- Bichler, M., Frank, U., Avison, D., Malaurent, J., Fettke, P., Hovorka, D., Krämer, J., Schnurr, D., Müller, B., Suhl, L., und Thalheim, B. (2016). Theories in Business and Information Systems Engineering. *Business & Information Systems Engineering*, 58(4):291–319.
- Biggs, J. (2013). What You Need To Know About The Liberator 3D-Printed Pistol. *TechCrunch*, <https://techcrunch.com/2013/05/06/what-you-need-to-know-about-the-liberator-3d-printed-pistol/>. (abgerufen am 16.03.2017).
- Bikas, H., Stavropoulos, P., und Chryssolouris, G. (2016). Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1-4):389–405.
- Bin Maidin, S., Campbell, R. I., und Pei, E. (2012). Development of a design feature database to support design for additive manufacturing. *Assembly Automation*, 32(3):235–244.
- Birkinshaw, J., Bouquet, C., und Barsoux, J.-L. (2011). The 5 Myths of Innovation. *MIT Sloan Management Review*, 52(2):43–50.
- Birtchnell, T. und Urry, J. (2013). 3D, SF and the Future. *Futures*, 50:25–34.
- Blättel-Mink, B. und Hellmann, K.-U., (Hrsg.) (2010). *Prosumer Revisited: Zur Aktualität einer Debatte*. Springer VS, Wiesbaden.
- Blohm, I., Leimeister, J. M., und Kremer, H. (2013). Crowdsourcing: How to Benefit from (Too) Many Great Ideas. *MIS Quarterly Executive*, 12(4):199–211.
- Board of Innovation (2016). How To Use Our Business Model Kit? <https://www.boardofinnovation.com/business-model-templates-tools/>. (abgerufen am 21.03.2016).
- Bock, G.-W., Kankanhalli, A., und Sharma, S. (2006). Are Norms Enough? The Role of Collaborative Norms in Promoting Organizational Knowledge Seeking. *European Journal of Information Systems*, 15(4):357–367.
- Bogers, M., Afuah, A., und Bastian, B. (2010). Users as Innovators: A Review, Critique, and Future Research Directions. *Journal of Management*, 36(4):857–875.
- Bogers, M., Hadar, R., und Bilberg, A. (2016). Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 102:225–239.

- Bolwijn, P. T. und Kumpe, T. (1990). Manufacturing in the 1990s—Productivity, Flexibility and Innovation. *Long Range Planning*, 23(4):44–57.
- Bower, J. L. und Christensen, C. M. (1995). Disruptive Technologies: Catching the Wave. *Harvard Business Review*, 73(1):43–53.
- Brandon, J. (2016). 4 Important Lessons You Can Learn Now That 3-D Printing Is Dying. <https://www.inc.com/john-brandon/the-slow-sad-and-ultimately-predictable-decline-of-3d-printing.html>. (abgerufen am 17.03.2016).
- Bresnahan, T. F. (2012). Generality, Recombination, and Reuse. In Lerner, J. und Stern, S., (Hrsg.), *The Rate and Direction of Inventive Activity Revisited*, Seiten 611–656. The University of Chicago Press, Chicago.
- Breuninger, J. (2013). *Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern*. Springer, Berlin.
- Broer, J. (2016). First Thing Apps Now Available on Thingiverse. *Maker-Bot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2016/04/28/first-thing-apps-now-available-thingiverse>. (abgerufen am 14.09.2016).
- Brooks, R. (2012). Making Revolution. *Technology Review*, 115(1):11.
- Brüsemeister, T. (2008). *Qualitative Forschung: Ein Überblick*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2. Auflage.
- Brynjolfsson, E. und McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company, New York.
- Bull, G. und Groves, J. (2009). The Democratization of Production. *Learning & Leading with Technology*, 37(3):36–37.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2012). Zwanzig20: Partnerschaft für Innovation. https://www.unternehmen-region.de/_media/BMBF_Zwanzig20_Flyer_web.pdf. (abgerufen am 24.10.2016).
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014). Die neue Hightech-Strategie: Innovationen für Deutschland. https://www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschure_Web.pdf. (abgerufen am 24.10.2016).
- Burkhart, T., Krumeich, J., Werth, D., und Loos, P. (2011). Analyzing the Business Model Concept—A Comprehensive Classification of Literature. In *Proceedings of the 32nd International Conference on Information Systems (ICIS)*, Shanghai, China.

- Burnham, K. P. (2004). Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*, 33(2):261–304.
- Buxmann, P. und Hinz, O. (2013). Makers. *Business & Information Systems Engineering*, 5(5):357–360.
- Calì, J., Calian, D. A., Amati, C., Kleinberger, R., Steed, A., Kautz, J., und Weyrich, T. (2012). 3D-Printing of Non-Assembly, Articulated Models. *ACM Transactions on Graphics*, 31(6):1.
- Campbell, R. I., Bourell, D., und Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid Prototyping Journal*, 18(4):255–258.
- Canessa, E., Fonda, C., und Zennaro, M., (Hrsg.) (2013). *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. ICTP–The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Triest, Italien.
- Carmy, C. (2012a). 2012 in Numbers: The Shapeways Community & Rise of 3D Printing for All. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/1839-2012-in-numbers-the-shapeways-community-rise-of-3d-printing-for-all.html>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Carmy, C. (2012b). Factory of the Future: Our Plan to 3D Print 3 to 5 Million Unique Products Per Year in NYC. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/1692-Factory-of-the-Future-Our-Plan-to-3D-Print-3-to-5-Million-Unique-Products-Per-Year-in-NYC.html>. (abgerufen am 08.08.2016).
- Carmy, C. (2012c). Video: Shapeways 3D Printing & the Culture of Creativity. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/1612-video-shapeways-3d-printing-the-culture-of-creativity.html>. (abgerufen am 05.08.2016).
- Carmy, C. (2013). 2013 Shapeways 3D Printing Year in Review. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/2394-2013-Shapeways-3D-Printing-Year-in-Review.html>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Carnabuci, G. und Operti, E. (2013). Where Do Firms' Recombinant Capabilities Come From? Intraorganizational Networks, Knowledge, and Firms' Ability to Innovate through Technological Recombination. *Strategic Management Journal*, 34(13):1591–1613.
- Cassell, C. und Symon, G., (Hrsg.) (2006). *Essential Guide to Qualitative Methods in Organizational Research*. SAGE Publications, London, 2. Auflage.

- Caviezel, C. (2015). Anwendungs- und Entwicklungsperspektiven der additiven Fertigung für den Wirtschaftsstandort Deutschland: Informationen zur Vergabe von Gutachten. *TAB*, <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/gutachter/g20300.html>. (abgerufen am 24.10.2016).
- Charron, K. (2016). The 10 Best Sites to Download Free STL Files for 3D Printing. *3Ders.org*, <http://www.3ders.org/articles/20160125-the-10-best-sites-to-download-free-stl-files-for-3d-printing.html>. (abgerufen am 14.09.2016).
- Cheliotis, G., Hu, N., Yew, J., und Huang, J. (2014). The Antecedents of Remix. In Fussell, S., Lutters, W., Morris, M. R., und Reddy, M., (Hrsg.), *Proceedings of the 17th Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing (CSCW)*, Seiten 1011–1022, Baltimore, USA.
- Cheliotis, G., Warren, C., Gulgani, A., und Tayi, G. K. (2007). Taking Stock of the Creative Commons Experiment: Monitoring the Use of Creative Commons Licenses and Evaluating its Implications for the Future of Creative Commons and for Copyright Law. In *Proceedings of the 35th Research Conference on Communication, Information and Internet Policy (TPRC)*, Fairfax, USA.
- Cheliotis, G. und Yew, J. (2009). An Analysis of the Social Structure of Remix Culture. In Carroll, J. M., (Hrsg.), *Proceedings of the 4th International Conference on Communities and Technologies (C&T)*, Seite 165, University Park, USA.
- Chesbrough, H. (2007). Business model innovation: it's not just about technology anymore. *Strategy & Leadership*, 35(6):12–17.
- Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business School Press, Boston.
- Ciborra, C. U. (1996). The Platform Organization: Recombining Strategies, Structures, and Surprises. *Organization Science*, 7(2):103–118.
- Ciborra, C. U. (2002). *The Labyrinths of Information: Challenging the Wisdom of Systems*. Oxford University Press, Oxford.
- Cole, T. (2015). *Digitale Transformation: Warum die deutsche Wirtschaft gerade die digitale Zukunft verschläft und was jetzt getaden werden muss!* Vahlen, München.
- Corradini, C., Battisti, G., und Demirel, P. (2016). Serial innovators in the UK: Does size matter? *Industrial and Corporate Change*, 25(1):23–47.
- Corrêa, H. L. (1994). *Linking flexibility, uncertainty and variability in manufacturing systems: Managing un-planned change in the automotive industry*. Avebury, Aldershot.

- Couger, J. D., Higgins, L. F., und McIntyre, S. C. (1993). (Un)Structured Creativity in Information Systems Organizations. *MIS Quarterly*, 17(4):375.
- Cox, B. (2016). MakerBot and Syfy Channel Announce Thingiverse Partnership. *MakerBot*, <https://www.makerbot.com/media-center/2016/01/12/makerbot-syfy-partnership>. (abgerufen am 25.10.2016).
- Creswell, J. W. (2009). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*. SAGE Publications, Thousand Oaks, 2. Auflage.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications, Los Angeles, 4. Auflage.
- Crump, S. S. (1992). Apparatus and method for creating three-dimensional objects. US Patent US5121329 A.
- Csárdi, G. und Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695(5).
- Cunningham, S. W. (2009). Analysis for radical design. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(9):1138–1149.
- da Silveira, G. J., Borenstein, D., und Fogliatto, F. S. (2001). Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, 72(1):1–13.
- Dabbish, L., Stuart, C., Tsay, J., und Herbsleb, J. (2012). Social Coding in GitHub. In Poltrock, S., Simone, C., Grudin, J., Mark, G., und Riedl, J., (Hrsg.), *Proceedings of the 15th Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, Seiten 1277–1286, Seattle, USA.
- Darke, P., Shanks, G., und Broadbent, M. (1998). Successfully completing case study research: combining rigour, relevance and pragmatism. *Information Systems Journal*, 8(4):273–289.
- Dasgupta, S., Hale, W., Monroy-Hernández, A., und Benjamin, M. H. (2016). Remixing as a Pathway to Computational Thinking. In *Proceedings of the 19th Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing (CSCW)*, San Francisco, USA.
- DaSilva, C. M. und Trkman, P. (2014). Business Model: What It Is and What It Is Not. *Long Range Planning*, 47(6):379–389.
- D’Aveni, R. (2015). The 3-D Printing Revolution. *Harvard Business Review*, 93(5):40–48.

- Davis, S. M. (1989). From “Future Perfect”: Mass Customizing. *Planning Review*, 17(2):16–21.
- de Bruijn, E. und de Jong, J. P. (2013). Innovation Lessons From 3-D Printing. *MIT Sloan Management Review*, 54(2):43–52.
- de Waal, G. A. und Knott, P. (2013). Innovation Tool Adoption and Adaptation in Small Technology-Based Firms. *International Journal of Innovation Management*, 17(3):1340012.
- Deckard, C. R. (1989). Method and Apparatus for Producing Parts by Selective Sintering. US Patent US4863538 A.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (2011). DFG fördert 21 neue Sonderforschungsbereiche: Breites Themenspektrum von Additiver Fertigung über Biologische Membranen und Manuskriptkulturen bis zur Quantenphysik. *Pressemitteilung Nr. 23*, http://www.dfg.de/service/presse/pressemitteilungen/2011/pressemitteilung_nr_23/. (abgerufen am 25.10.2016).
- Dhuru, R. (2015). Behind the New Frames in the 3D-Printed Cabrio Collection: A Chat with Eyewear Designer Bieke Hoet! *materialise Blog*, <http://www.materialise.com/blog/new-3d-printed-eyewear-cabrio-designer-bieke-hoet>. (abgerufen am 04.08.2016).
- Di Battista, G., Eades, P., Tamassia, R., und Tollis, I. G. (1999). *Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Di Gangi, P. M. und Wasko, M. (2009). Steal my idea! Organizational adoption of user innovations from a user innovation community: A case study of Dell IdeaStorm. *Decision Support Systems*, 48(1):303–312.
- DiCicco-Bloom, B. und Crabtree, B. F. (2006). The qualitative research interview. *medical education*, 40(4):314–321.
- Diegel, O., Singamneni, S., Reay, S., und Withell, A. (2010). Tools for Sustainable Product Design: Additive Manufacturing. *Journal of Sustainable Development*, 3(3):68–75.
- Dietz, M. (2015). Die Vision vom Auto aus dem 3D-Drucker. *Hessische Wirtschaft*, 2015(3):6–7.
- Dilawar, A. (2016). The 3-D Printing Bubble May Have Burst. *Newsweek*, <http://europe.newsweek.com/3d-printing-makerbot-stratasys-469704>. (abgerufen am 17.03.2017).
- DIN-Norm 8580:2003-09 (2003). Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung. Beuth, Berlin.

- Djordjevic, V. und Dobusch, L., (Hrsg.) (2014). *Generation Remix: Zwischen Popkultur und Kunst*. iRights.Media, Berlin.
- Dodgson, M., Gann, D., und Phillips, N. (2014). *The Oxford Handbook of Innovation Management*. Oxford University Press, Oxford.
- Döring, N. und Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer, Berlin, 5. Auflage.
- Dougherty, D. (2005). The Making of Make. *Make*, 1:7.
- Dougherty, D. (2012). The Maker Movement. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 7(3):11–14.
- Duchêne, V., Padilla, P., van de Velde, E., Wastyn, A., Nuñez, L., Knotter, S., Magistrelli, G., Nieminen, M., Puukko, P., Eklund, P., Rilla, N., Deschyvere, M., Mäntylä, M., Kasztler, A., Leitner, K.-H., Schiebel, E., und Wepner, B. (2016). *Identifying current and future application areas, existing industrial value chains and missing competences in the EU, in the area of additive manufacturing (3D-printing): Final Report*. Europäische Union, Brüssel.
- Dul, J. und Hak, T. (2008). *Case Study Methodology in Business Research*. Elsevier, Amsterdam.
- Duncan, S. C. (2011). Minecraft, Beyond Construction and Survival. *Well Played*, 1(1):1–22.
- Duray, R. (2002). Mass customization origins: mass or custom manufacturing? *International Journal of Operations & Production Management*, 22(3):314–328.
- Duymedjian, R. und Ruling, C.-C. (2010). Towards a Foundation of Bricolage in Organization and Management Theory. *Organization Studies*, 31(2):133–151.
- Dyckhoff, H. (2003). *Grundzüge der Produktionswirtschaft: Einführung in die Theorie betrieblicher Wertschöpfung*. Springer, Berlin, 4. Auflage.
- Echevarria, C. (2015). Celebrating a Maker Milestone: 1 Million Uploads on MakerBot's Thingiverse. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2015/10/29/celebrating-maker-milestone-1-million-uploads-makerbots-thingiverse>. (abgerufen am 08.09.2016).
- Edelman, B. (2012). Using Internet Data for Economic Research. *Journal of Economic Perspectives*, 26(2):189–206.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4):532–550.

- Eisenhardt, K. M. und Graebner, M. E. (2007). Theory Building From Cases: Opportunities and Challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1):25–32.
- Eisenmann, T., Parker, G., und van Alstyne, M. W. (2006). Strategies for Two-Sided Markets. *Harvard Business Review*, 84(10):92–101.
- Emmelmann, C., Sander, P., Kranz, J., und Wycisk, E. (2011). Laser Additive Manufacturing and Bionics: Redefining Lightweight Design. *Physics Procedia*, 12:364–368.
- Enkel, E. und Gassmann, O. (2010). Creative imitation: exploring the case of cross-industry innovation. *R&D Management*, 40(3):256–270.
- EOS GmbH (2012). EOS Technology Enables Automation Specialist Festo to Design its Bionic Assistance System. https://www.eos.info/press/case_studies/download/reference_FESTO.pdf. (abgerufen am 01.07.2016).
- EOS GmbH (2013a). BEGO USA Decides for EOS Technology to Bite Big into Changing U.S. Dental Restoration Market. https://www.eos.info/press/case_studies/download/reference_Bego_medical.pdf. (abgerufen am 01.07.2016).
- EOS GmbH (2013b). Glittering Prospects with Additive Manufacturing of Gold. https://www.eos.info/press/case_studies/download/reference_cookson.pdf. (abgerufen am 04.08.2016).
- EOS GmbH (2013c). Light, Cost and Resource Effective: Researching Sustainability of Direct Metal Laser Sintering (DMLS). https://www.eos.info/case_studies/download/aerospace_eads.pdf. (abgerufen am 01.07.2016).
- EOS GmbH (2014). EOS and Airbus Group Innovations Team in Aerospace Sustainability Study for Industrial 3D Printing. https://www.eos.info/eos_airbusgroupinnovationteam_aerospace_sustainability_study. (abgerufen am 06.07.2016).
- EOS GmbH (2015). Help Is Fast at Hand Thanks to Additive Manufacturing: Alphaform Produces a Hip Replacement Designed by Instrumentaria. https://www.eos.info/case_studies/download/medical/alphaform-3d-printed-hip.pdf. (abgerufen am 01.07.2016).
- EOS GmbH (2016). Designed by Sight with Additive Manufacturing. https://www.eos.info/case_studies/raytech-3d-printed-titanium-eyeglass-frames. (abgerufen am 01.07.2016).
- Etherington, D. (2016). This is Microsoft’s Paint 3D for the Windows 10 Creator’s Update. *TechCrunch*, <https://techcrunch.com/2016/10/26/this-is-microsofts-paint-3d-for-the-windows-10-creators-update/>. (abgerufen am 17.11.2016).

- Evans, B. (2012). *Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. Technology in Action*. Apress, New York.
- Eysenbach, G. (2006). Citation Advantage of Open Access Articles. *PLoS Biology*, 4(5):e157.
- Faraj, S., Jarvenpaa, S. L., und Majchrzak, A. (2011). Knowledge Collaboration in Online Communities. *Organization Science*, 22(5):1224–1239.
- Fastermann, P. (2012). *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt*. Springer, Berlin.
- Fastermann, P. (2014). *3D-Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*. Springer, Berlin.
- Fedorovich, N. E., Alblas, J., Hennink, W. E., Oner, F. C., und Dhert, W. J. A. (2011). Organ Printing: The Future of Bone Regeneration? *Trends in Biotechnology*, 29(12):601–606.
- Feldmann, C. und Pumpe, A. (2016). *3D-Druck – Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit: Entscheidungsunterstützung für Unternehmen*. Springer, Wiesbaden.
- Festo AG & Co. KG (2012). Bionischer Handling-Assistent: Sichere Mensch-Maschine-Interaktion. <https://www.festo.com/group/de/cms/10241.htm>.
- Feygin, M. und Pak, S. S. (1999). Laminated Object Manufacturing Apparatus and Method. US Patent US5876550 A.
- Fleming, L. (2001). Recombinant Uncertainty in Technological Search. *Management Science*, 47(1):117–132.
- Fontana, A. und Frey, J. H. (2003). The Interview: From Structured Questions to Negotiated Text. In Denzin, N. K. und Lincoln, Y. S., (Hrsg.), *Handbook of Qualitative Research*, Seiten 945–672. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Ford, S., Mortara, L., und Minshall, T. (2016). The Emergence of Additive Manufacturing: Introduction to the Special Issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 102:156–159.
- Fordyce, R., Heemsbergen, L., Apperley, T., Arnold, M., Birtchnell, T., Luo, M., und Nansen, B. (2016). Things, tags, topics: Thingiverse’s object-centred network. *Communication Research and Practice*, 2(1):63–78.
- Franke, N. und Shah, S. (2003). How communities support innovative activities: an exploration of assistance and sharing among end-users. *Research Policy*, 32(1):157–178.

- Friesike, S., Send, H., und Tech, R. P. G. (2014). What Do Consumers Use 3D Printers For? *SSRN Electronic Journal*.
- Fritscher, B. und Pigneur, Y. (2010). Supporting Business Model Modelling: A Compromise between Creativity and Constraints. In England, D., Palanque, P., Vanderdonckt, J., und Wild, P. J., (Hrsg.), *Task Models and Diagrams for User Interface Design*, Lecture Notes in Computer Science, Seiten 28–43. Springer, Berlin.
- Fritz, A. H. und Schulze, G., (Hrsg.) (2015). *Fertigungstechnik*. Springer, Berlin, 11. Auflage.
- Gabriel, Y. und Griffiths, D. S. (2006). Stories in Organizational Research. In Cassell, C. und Symon, G., (Hrsg.), *Essential Guide to Qualitative Methods in Organizational Research*, Seiten 114–126. SAGE Publications, London.
- Gaiser, B., Hampel, T., und Panke, S., (Hrsg.) (2008). *Good tags – Bad Tags: Social Tagging in der Wissensorganisation*. Medien in der Wissenschaft. Waxmann, Münster.
- Galunic, D. C. und Rodan, S. (1998). Resource recombinations in the firm: Knowledge structures and the potential for schumpeterian innovation. *Strategic Management Journal*, 19(12):1193–1201.
- Ganster, D. C., Hennessey, H. W., und Luthans, F. (1983). Social desirability response effects: Three alternative models. *Academy of Management Journal*, 26(2):321–331.
- Gardan, J. (2016). Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10):3118–3132.
- Garret, B. (2017). 3D Printing Trends Q2-2017. *3D Hubs*, <https://www.3dhubs.com/trends/q2-2017>. (abgerufen am 11.06.2017).
- Garud, R., Tuertscher, P., und Van de Ven, A. H. (2013). Perspectives on Innovation Processes. *The Academy of Management Annals*, 7(1):775–819.
- Gassmann, O., Frankenberger, K., und Csik, M. (2013). *Geschäftsmodelle entwickeln: 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator*. Carl Hanser, München.
- Gausemeier, J., Wall, M., und Peter, S. (2013). *Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing: Exploring the Research Landscape*. Heinz Nixdorf Institut, Paderborn.

- GE Aviation (2012). GE Aviation acquires Morris Technologies and Rapid Quality Manufacturing. <https://www.geaviation.com/press-release/other-news-information/ge-aviation-acquires-morris-technologies-and-rapid-quality>. (abgerufen am 08.06.2017).
- Gebhardt, A. (2007). *Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing*. Carl Hanser, München, 3. Auflage.
- Gebhardt, A. (2012). *Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. Carl Hanser, Cincinnati.
- Gebhardt, A. (2014). *3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM)*. Carl Hanser, München.
- Gebhardt, A. (2016). *Additive Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion*. Carl Hanser, München, 5. Auflage.
- Gebhardt, A. und Hötter, J.-S. (2016). *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Carl Hanser, München.
- Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A. J., und Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74:158–167.
- Gerber, T. (2016). Schichtarbeiter: 3D-Drucker für Hobby und Gewerbe. *c't*, 2016(2):128–133.
- Gerrish, B. M. (2001). *Remix: The Electronic Music Explosion*. EMBooks, Vallejo.
- Gershenfeld, N. A. (2005). *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop—From Personal Computers to Personal Fabrication*. Basic Books, New York.
- Gershenfeld, N. A. (2012). How to Make Almost Anything: The Digital Fabrication Revolution. *Foreign Affairs*, 91(6):43–57.
- Gerwin, D. (1993). Manufacturing Flexibility: A Strategic Perspective. *Management Science*, 39(4):395–410.
- Geupel, H. (2001). *Konstruktionslehre: Methodisches Konstruieren für das praxisnahe Studium*. Springer, Berlin, 2. Auflage.
- Gibson, I., Rosen, D. W., und Stucker, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. Springer, New York.
- Gibson, I., Rosen, D. W., und Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer, New York, 2. Auflage.

- Gilmore, J. H. und Pine, II, B. J. (1997). The Four Faces of Mass Customization. *Harvard Business Review*, 1997(75):91–101.
- Gläser, J. und Laudel, G. (2009). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 3. Auflage.
- Gläser-Zikuda, M. (2015). Qualitative Auswertungsverfahren. In Reinders, H., Ditton, H., Gräsel, C., und Gniewosz, B., (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung*, Seiten 119–130. Springer VS, Wiesbaden.
- Godoi, F. C., Prakash, S., und Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179:44–54.
- Goel, A. K. (1997). Design, Analogy, and Creativity. *IEEE Expert*, 12(3):62–70.
- Gräßler, I. (2004). *Kundenindividuelle Massenproduktion: Entwicklung, Vorbereitung der Herstellung, Veränderungsmanagement*. Springer, Berlin.
- Greenberg, A. (2013). Meet The 'Liberator': Test-Firing The World's First Fully 3D-Printed Gun. *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/05/05/meet-the-liberator-test-firing-the-worlds-first-fully-3d-printed-gun>. (abgerufen am 16.03.2017).
- Gregor, S. (2006). The Nature of Theory in Information Systems. *MIS Quarterly*, 30(3):611–642.
- Gruber, M., Harhoff, D., und Hoisl, K. (2013). Knowledge Recombination Across Technological Boundaries: Scientists vs. Engineers. *Management Science*, 59(4):837–851.
- Grund, M. (2015). *Implementierung von schichtadditiven Fertigungsverfahren: Mit Fallbeispielen aus der Luftfahrtindustrie und Medizintechnik*. Light Engineering für die Praxis. Springer Vieweg, Berlin.
- Grzesiak, A., Becker, R., und Verl, A. (2011). The Bionic Handling Assistant: a success story of additive manufacturing. *Assembly Automation*, 31(4):329–333.
- Gu, Z., Gu, L., Eils, R., Schlesner, M., und Brors, B. (2014). circlize implements and enhances circular visualization in R. *Bioinformatics*, 30(19):2811–2812.
- Guan, J. und Liu, N. (2015). Invention profiles and uneven growth in the field of emerging nano-energy. *Energy Policy*, 76:146–157.
- Gunkel, D. J. (2016). *Of Remixology: Ethics and Aesthetics After Remix*. MIT Press, Cambridge.

- Guo, N. und Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3):215–243.
- Haefliger, S., von Krogh, G., und Spaeth, S. (2008). Code Reuse in Open Source Software. *Management Science*, 54(1):180–193.
- Hagl, R. (2015). *Das 3D-Druck-Kompendium: Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*. Springer, Wiesbaden, 2. Auflage.
- Hague, R. (2006). Unlocking the Design Potential of Rapid Manufacturing. In Hopkinson, N., Dickens, P. M., und Hague, R. J. M., (Hrsg.), *Rapid Manufacturing*, Seiten 5–18. John Wiley & Sons, Chichester.
- Hannum, K. (2013a). Featured Things. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/media-center/2013/11/08/stylecolor000thingiverse-featured-things>. (abgerufen am 08.06.2017).
- Hannum, K. (2013b). Verified Prints. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/media-center/2013/10/16/thingiverse-verified-prints>. (abgerufen am 08.06.2017).
- Hargadon, A. (2003). *How Breakthroughs Happen: The Surprising Truth About How Companies Innovate*. Harvard Business School Press, Boston.
- Hars, A. und Ou, S. (2002). Working for Free? Motivations for Participating in Open-Source Projects. *International Journal of Electronic Commerce*, 6(3):25–39.
- Hausman, K. K. (2014). *3D-Druck für Dummies*. Wiley, Hoboken.
- Hayes, R. H. und Wheelwright, S. C. (1984). *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*. Wiley, New York.
- Hearst, M. A. und Rosner, D. (2008). Tag Clouds: Data Analysis Tool or Social Signaller? In *Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Waikoloa, USA.
- Hebeisen, W. (1999). *F. W. Taylor und der Taylorismus: Über das Wirken und die Lehre Taylors und die Kritik am Taylorismus*. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich.
- Heckhausen, J. und Heckhausen, H., (Hrsg.) (2010). *Motivation und Handeln*. Springer, Berlin, 4. Auflage.
- Hedman, J. und Kalling, T. (2003). The business model concept: theoretical underpinnings and empirical illustrations. *European Journal of Information Systems*, 12(1):49–59.

- Henfridsson, O. und Bygstad, B. (2013). The Generative Mechanisms of Digital Infrastructure Evolution. *MIS Quarterly*, 37(3):896–931.
- Hepburn, A. und Bolden, G. B. (2014). *Transcribing for Social Research*. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Hertel, G., Niedner, S., und Herrmann, S. (2003). Motivation of software developers in Open Source projects: An Internet-based survey of contributors to the Linux kernel. *Research Policy*, 32(7):1159–1177.
- Hertz, G. (2011). Arduino Microcontrollers and The Queen’s Hamlet: Utilitarian and Hedonized DIY Practices in Contemporary Digital Culture. In Taron, J. M., Parlac, V., Kolarevic, B., und Johnson, J. S., (Hrsg.), *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, Seiten 44–47, Stoughton, USA.
- Hewett, T. T. (2005). Informing the design of computer-based environments to support creativity. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63(4–5):383–409.
- Hey, T., Tansley, S., und Tolle, K., (Hrsg.) (2009). *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*. Microsoft Research, Redmond, 2. Auflage.
- Hienert, C. (2006). The commercialization of user innovations: the development of the rodeo kayak industry. *R&D Management*, 36(3):273–294.
- Hienert, C., von Hippel, E., und Berg Jensen, M. (2014). User community vs. producer innovation development efficiency: A first empirical study. *Research Policy*, 43(1):190–201.
- Hill, B. M. und Monroy-Hernández, A. (2013). The Remixing Dilemma: The Trade-Off Between Generativity and Originality. *American Behavioral Scientist*, 57(5):643–663.
- Hinnen, G., Loock, M., und Spiegelberg, G. (2016). Geschäftsmodellinnovation und Heuristiken: Das Beispiel E-Mobility bei Siemens. In Hoffmann, C. P., Lennerts, S., Schmitz, C., Stölzle, W., und Uebernickel, F., (Hrsg.), *Business Innovation*, Seiten 383–396. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Hinssen, P. (2015). *The Network Always Wins: How to Influence Customers, Stay Relevant, and Transform Your Organization to Move Faster than the Market*. McGraw-Hill, New York.
- Hoet, P. (2016). Hoet Couture: Hoet proudly presents a new concept in eyeglasses. *Hoet Couture*, <http://couture.hoet.eu/en/couture-philosophy/MTYxOA>. (abgerufen am 04.08.2016).

- Hoffmann, C. P., Lennerts, S., Schmitz, C., Stölzle, W., und Uebernicket, F., (Hrsg.) (2016). *Business Innovation: Das St. Galler Modell*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Hollenberg, S. (2016). *Fragebögen: Fundierte Konstruktion, sachgerechte Anwendung und aussagekräftige Auswertung*. Essentials. Springer VS, Wiesbaden.
- Holman, P., de Bruijn, E., Ederer, I., Weijmarshausen, P., und Levene, S. (2013). The 3D Printing & Manufacturing Revolution [Podiumsdiskussion]. *Digital Life Design Conference 2013 (DLD13)*, <http://dld-conference.com/videos/MMkqios61Hc>. (abgerufen am 05.08.2016).
- Holten, D. (2006). Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12(5):741–748.
- Holweg, M. (2015). The Limits of 3D Printing. *Harvard Business Review*, <https://hbr.org/2015/06/the-limits-of-3d-printing>. (abgerufen am 23.06.2016).
- Honsel, G. (2006). Fieberkurve der Aufmerksamkeit. *Technology Review*, 2006(10):80–82.
- Horsch, F. (2013). *3D-Druck für alle: Der Do-it-yourself-Guide*. Carl Hanser, München.
- Horst, L. und Riehl, H. (2015). Richtlinien zur Förderung im Themenfeld „Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte, innovative Materialien (ProMat_3D)“. *BMBF*, <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1037.html>. (abgerufen am 24.10.2016).
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., und Sturdivant, R. X. (2013). *Applied Logistic Regression*. Wiley, Hoboken, 3. Auflage.
- Hounshell, D. A. (1984). *From the American System to Mass Production, 1800–1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Huang, R., Riddle, M., Graziano, D., Warren, J., Das, S., Nimbalkar, S., Cresko, J., und Masanet, E. (2016). Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: The case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 135:1559–1570.
- Huang, Y., Leu, M. C., Mazumder, J., und Donmez, A. (2015). Additive Manufacturing: Current State, Future Potential, Gaps and Needs, and Recommendations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 137(1):014001.

- Hudson, A. (2016). ShapeJS 2.0 Real Time Development Just Got Easier. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/24170-shapejs-2-0-real-time-development-just-got-easier.html>. (abgerufen am 07.09.2016).
- Hull, C. W. (1986). Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography. US Patent US4575330 A.
- Hull, C. W. (1988). StereoLithography: Plastic prototypes from CAD data without tooling. *Modern Casting*, 78(8):38.
- Hurst, F. (2013). 3-D-Drucker: Revolution in drei Dimensionen. *NDR*, <http://www.ndr.de/nachrichten/netzwelt/3-D-Drucker-Revolution-in-drei-Dimensionen,dreiddrucker125.html>. (abgerufen am 07.03.2016).
- Hurst, N. (2012). 3-D Printing Giants Stratasys and Objet Merge to Create \$3 Billion Firm. *WIRED*, <https://www.wired.com/2012/12/stratasys-objet-merger/>. (abgerufen am 24.02.2016).
- Huston, L. und Sakkab, N. (2006). Connect and Develop: Inside Procter & Gamble's New Model for Innovation. *Harvard Business Review*, 84(3):58–66.
- Hutchinson, L. (2013). The first entirely 3D-printed handgun is here. *Ars Technica*, <https://arstechnica.com/gadgets/2013/05/the-first-entirely-3d-printed-handgun-is-here/>. (abgerufen am 16.03.2017).
- Huysman, M. und Wulf, V. (2006). IT to support knowledge sharing in communities, towards a social capital analysis. *Journal of Information Technology*, 21(1):40–51.
- Hwang, E. H., Singh, P. V., und Argote, L. (2014). Jack of All, Master of Some: The Contingent Effect of Knowledge Breadth on Innovation. In *Proceedings of the 35th International Conference on Information Systems (ICIS)*, Auckland, Neuseeland.
- Hyysalo, S., Juntunen, J. K., und Freeman, S. (2013). User innovation in sustainable home energy technologies. *Energy Policy*, 55:490–500.
- Hyysalo, S. und Usenyuk, S. (2015). The user dominated technology era: Dynamics of dispersed peer-innovation. *Research Policy*, 44(3):560–576.
- Ihaka, R. und Gentleman, R. (1996). R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3):299–314.
- Ihl, C. und Piller, F. T. (2016). 3D Printing as Driver of Localized Manufacturing: Expected Benefits from Producer and Consumer Perspectives. In Ferdinand, J.-P., Petschow, U., und Dickel, S., (Hrsg.), *The Decentralized and Networked Future of Value Creation*, Seiten 179–204. Springer, Cham.

- Iivari, N., Molin-Juustila, T., und Kinnula, M. (2016). The Future Digital Innovators: Empowering the Young Generation with Digital Fabrication and Making. In *Proceedings of the 37th International Conference on Information Systems (ICIS)*, Dublin, Irland.
- i.materialise (2016). 3D Printing Materials. <https://i.materialise.com/3d-printing-materials>. (abgerufen am 12.08.2016).
- ISO/ASTM-Standard 52900:2015 (2015). Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. International Organization for Standardization, Genf.
- ISO/ASTM-Standard 52915:2016 (2016). Specification for Additive Manufacturing File Format (AMF) Version 1.2. International Organization for Standardization, Genf.
- Jackson, B. (2017). A 3D printer under \$100? Meet the STARTT. *3D Printing Industry*, <https://3dprintingindustry.com/news/startt-sub-100-3d-printer-full-details-specifications-107024/>. (abgerufen am 06.03.2017).
- Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S., und Bastian, M. (2014). ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. *PLoS ONE*, 9(6):e98679.
- James, N. und Busher, H. (2016). Online Interviewing. In Silverman, D., (Hrsg.), *Qualitative Research*, Seiten 245–260. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Jeppesen, L. B. und Lakhani, K. R. (2010). Marginality and Problem-Solving Effectiveness in Broadcast Search. *Organization Science*, 21(5):1016–1033.
- Jia, F., Wang, X., Mustafee, N., und Hao, L. (2016). Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study. *Technological Forecasting and Social Change*, 102:202–213.
- Jiang, R., Kleer, R., und Piller, F. T. (2017). Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change*, 117:84–97.
- Johnson, N. F. (2009). *Simply Complexity: A Clear Guide to Complexity Theory*. Oneworld Publications, New York.
- Jones, D. E. H. (1974). Ariadne. *New Scientist*, 64(917):80.
- Jones, D. E. H. (2000). *The Further Inventions of Daedalus: A Compendium of Plausible Schemes*. Oxford University Press, Oxford.

- Kai, D. A., de Jesus, É. T., Pereira, E. A., de Lima, E. P., und Tortato, U. (2016). Measure Additive Manufacturing for Sustainable Manufacturing. In Borsato, M., Wognum, N., Peruzzini, M., Stjepandić, J., und Verhagen, W. J., (Hrsg.), *Transdisciplinary Engineering*, Seiten 186–195. IOS Press, Amsterdam.
- Kaplan, A. M. und Haenlein, M. (2006). Toward a Parsimonious Definition of Traditional and Electronic Mass Customization. *Journal of Product Innovation Management*, 23(2):168–182.
- Kaplan, B. und Duchon, D. (1988). Combining Qualitative and Quantitative Methods in Information Systems Research: A Case Study. *MIS Quarterly*, 12(4):571.
- Kaplan, S. und Vakili, K. (2015). The Double-Edged Sword of Recombination in Breakthrough Innovation. *Strategic Management Journal*, 36(10):1435–1457.
- Karki, M. (1997). Patent citation analysis: A policy analysis tool. *World Patent Information*, 19(4):269–272.
- Kasperek, C. (1994). Prus' Pharaoh: The Creation of a Historical Novel. *The Polish Review*, 39(1):45–50.
- Kasperkevic, J. (2014). Dominique Ansel: “I don't want the cronut to kill our creativity”. *The Guardian*, <https://www.theguardian.com/business/us-money-blog/2014/feb/25/dominique-ansel-interview-cronut-bakery-creativity-creation>. (abgerufen am 21.09.2016).
- Katila, R. und Ahuja, G. (2002). Something Old, Something New: A Longitudinal Study of Search Behavior and New Product Introduction. *Academy of Management Journal*, 45(6):1183–1194.
- Kaufmann, T. (2015). *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Kerkmann, C. (2013). Die Revolution wird abgeblasen. *Handelsblatt*, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/3d-druck-die-revolution-wird-abgeblasen/7817508.html>. (abgerufen am 10.03.2017).
- Keymolen, E. (2016). The Focal Practice of 3D Printing. In van den Berg, B., van der Hof, S., und Kosta, E., (Hrsg.), *3D Printing*, Information Technology and Law Series, Seiten 99–116. T.M.C. Asser Press, Den Haag.
- Khajavi, S. H., Partanen, J., und Holmström, J. (2014). Additive manufacturing in the spare parts supply chain. *Computers in Industry*, 65(1):50–63.
- Khatib, F., Cooper, S., Tyka, M. D., Xu, K., Makedon, I., Popovic, Z., Baker, D., und Players, F. (2011). Algorithm discovery by protein folding game players. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(47):18949–18953.

- Kieschnick, A. (2015). Das Arbeitsmodell – letzter Baustein im digitalen Workflow. *DZW Zahntechnik*, 2015(10):14–18.
- Kietzmann, J., Pitt, L., und Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58(2):209–215.
- King, N. (2006). Using Interviews in Qualitative Research. In Cassell, C. und Symon, G., (Hrsg.), *Essential Guide to Qualitative Methods in Organizational Research*, Seiten 11–22. SAGE Publications, London.
- King, N. und Horrocks, C. (2010). *Interviews in Qualitative Research*. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Kirchhoff, S., Kuhnt, S., Lipp, P., und Schlawin, S. (2000). „Machen wir doch einen Fragebogen“. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Kite-Powell, J. (2013). 3D Hubs Crowdsources 3D Printing. *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2013/08/27/3d-hubs-crowdsources-3d-printing>. (abgerufen am 08.06.2017).
- Klemp, E. (2011). Know-how-Katapulte für die additive Fertigung. *Industrieanzeiger*, 2011(31):36–39.
- Klocke, F. (2015). *Fertigungsverfahren 5: Gießen, Pulvermetallurgie, Additive Manufacturing*. Springer Vieweg, Berlin, 4. Auflage.
- Knabel, J. (2017). 99 € 3D Drucker Kit ist da – ohne Crowdfunding, Lieferung heute. *3Druck.com*, <https://3druck.com/drucker-und-produkte/99e-3d-drucker-kit-ist-da-ohne-crowdfunding-lieferung-heute-4155135/>. (abgerufen am 06.03.2017).
- Knobel, M. und Lankshear, C. (2008). Remix: The Art and Craft of Endless Hybridization. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 52(1):22–33.
- Knoppers, R. und Hague, R. (2006). CAD for Rapid Manufacturing. In Hopkinson, N., Dickens, P. M., und Hague, R. J. M., (Hrsg.), *Rapid Manufacturing*, Seiten 39–54. John Wiley & Sons, Chichester.
- Koman, R. (2005). Remixing Culture: An Interview with Lawrence Lessig. *O’Reilly Policy DevCenter*, <http://archive.oreilly.com/pub/a/policy/2005/02/24/lessig.html>.
- König, P. (2012). Zauberkästen: Sieben 3D-Drucker im Test. *c’t*, 2012(11):92–101.
- König, P. (2013). Individuell materialisiert: Techniken, Webdienste und Hardware für den 3D-Druck. *c’t*, 2013(24):162–167.

- König, P. und Barczok, A. (2011). Ideen materialisieren: Webdienste fertigen Objekte nach Ihren 3D-Entwürfen. *c't*, 2011(15):84–94.
- Kostakis, V. (2013). At the Turning Point of the Current Techno-Economic Paradigm: Commons-Based Peer Production, Desktop Manufacturing and the Role of Civil Society in the Perezian Framework. *tripleC*, 11(1):173–190.
- Kraftwurx (2016). 3D Printing Materials. <http://www.kraftwurx.com/3d-printing-materials>. (abgerufen am 12.08.2016).
- Krahn, H. und Storz, M. (2014). *Konstruktionsleitfaden Fertigungstechnik: Anwendungsbeispiele aus der Praxis*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Kreiger, M. und Pearce, J. M. (2013). Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Three-Dimensional Printing and Conventional Manufacturing of Polymer Products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1(12):1511–1519.
- Kühl, E. (2014). Die Revolution muss nachsitzen. *ZEIT ONLINE*, <http://www.zeit.de/digital/internet/2014-05/3d-druck-revolution-republica>. (abgerufen am 10.03.2017).
- Kuhn, T. (2011). Druck dir deine Welt. *WirtschaftsWoche*, 2011(51):72–78.
- Kuznetsov, S. und Paulos, E. (2010). Rise of the Expert Amateur: DIY Projects, Communities, and Cultures. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI)*, Seiten 295–304, Reykjavik, Island.
- Kvale, S. (1983). The Qualitative Research Interview: A Phenomenological and a Hermeneutical Mode of Understanding. *Journal of Phenomenological Psychology*, 14(2):171–196.
- Kvale, S. (2007). *Doing Interviews*. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Kyriakou, H., Englehardt, S., und Nickerson, J. V. (2012). Networks of Innovation in 3D Printing. In *Proceedings of the 4th Workshop on Information in Networks (WIN)*, New York, USA.
- Kyriakou, H. und Nickerson, J. V. (2013). Idea Inheritance, Originality, and Collective Innovation. In *Proceedings of the 5th Workshop on Information in Networks (WIN)*, New York, USA.
- Kyriakou, H., Nickerson, J. V., und Sabnis, G. (2017). Knowledge Reuse for Customization: Metamodels in an Open Design Community for 3D Printing. *MIS Quarterly*, 41(1):315–322.
- Lachmayer, R., Lippert, R. B., und Fahlbusch, T. (2016). *3D-Druck beleuchtet: Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung*. Springer, Berlin.

- Lakhani, K. R. und von Hippel, E. (2003). How open source software works: “free” user-to-user assistance. *Research Policy*, 32(6):923–943.
- Lamb, D. und Easton, S. M. (1984). *Multiple Discovery: The Pattern of Scientific Progress*. Avebury, Amersham.
- Landau, C., Karna, A., und Sailer, M. (2016). Business model adaptation for emerging markets: A case study of a German automobile manufacturer in India. *R&D Management*, 46(3):480–503.
- Lastowka, G. (2011). Minecraft as Web 2.0: Amateur Creativity & Digital Games. *SSRN Electronic Journal*.
- Laudon, K. C., Laudon, J. P., und Schoder, D. (2010). *Wirtschaftsinformatik: Eine Einführung*. Pearson, München, 2. Auflage.
- Laurent, A. M. S. (2004). *Understanding Open Source and Free Software Licensing*. O’Reilly, Sebastopol.
- Lee, F. R. (2013). 3-D Printed Gun Goes on Display at London Museum. *New York Times*, <https://artsbeat.blogs.nytimes.com/2013/09/16/3-d-printed-gun-goes-on-display-at-london-museum>.
- Lee, K. Y., Lee, M., Bassellier, G., und Faraj, S. (2010). The Impact of Emotional Expressions on Knowledge Creation in Online Communities. In *Proceedings of the 31st International Conference on Information Systems (ICIS)*, St. Louis, USA.
- Leenders, R. T. A. J. und Dolfsma, W. A. (2016). Social Networks for Innovation and New Product Development. *Journal of Product Innovation Management*, 33(2):123–131.
- Leimeister, J. M., Huber, M., Bretschneider, U., und Krcmar, H. (2009). Leveraging Crowdsourcing: Activation-Supporting Components for IT-Based Ideas Competition. *Journal of Management Information Systems*, 26(1):197–224.
- Lenhart, A. und Madden, M. (2005). Teen Content Creators and Consumers. *Pew Research Center*, <http://www.pewinternet.org/2005/11/02/teen-content-creators-and-consumers/>. (abgerufen am 13.11.2015).
- Leonardi, P. M. (2014). Social Media, Knowledge Sharing, and Innovation: Toward a Theory of Communication Visibility. *Information Systems Research*, 25(4):796–816.
- Lessig, L. (2008). *Remix: Making Art and Commerce Thrive in the Hybrid Economy*. Penguin Press, New York.

- Li, J., Myant, C., und Wu, B. (2016). *The Current Landscape for Additive Manufacturing Research: A review to map the UK's research activities in AM internationally and nationally*. Imperial College London, London.
- Lipson, H. und Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. John Wiley & Sons, Indianapolis.
- Lohmann, S., Ziegler, J., und Tetzlaff, L. (2009). Comparison of Tag Cloud Layouts: Task-Related Performance and Visual Exploration. In *Proceedings of the 12th IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT)*, Seiten 392–404, Uppsala, Schweden.
- Luchs, M. G., Swan, K. S., und Creusen, M. E. H. (2016). Perspective: A Review of Marketing Research on Product Design with Directions for Future Research. *Journal of Product Innovation Management*, 33(3):320–341.
- Lune, H. und Berg, B. L. (2017). *Qualitative Research Methods for the Social Sciences*. Pearson, New York, 9. Auflage.
- Luthiger, B. und Jungwirth, C. (2007). Pervasive Fun. *First Monday*, 12(1).
- Lüthje, C. (2004). Characteristics of innovating users in a consumer goods field. *Technovation*, 24(9):683–695.
- Lüthje, C., Herstatt, C., und von Hippel, E. (2005). User-innovators and “local” information: The case of mountain biking. *Research Policy*, 34(6):951–965.
- Magretta, J. (2002). Why Business Models Matter. *Harvard Business Review*, 80(5):86–92.
- Majchrzak, A., Cooper, L. P., und Neece, O. E. (2004). Knowledge Reuse for Innovation. *Management Science*, 50(2):174–188.
- MakerBot (2012a). Introducing Thingiverse Collections. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2012/12/04/introducing-thingiverse-collections-collect-all-the-things>. (abgerufen am 15.09.2016).
- MakerBot (2012b). Thingiverse Categories. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2012/06/12/thingiverse-categories>. (abgerufen am 13.09.2016).
- MakerBot (2013). OpenSCAD Design Tips: How to Make a Customizable Thing. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2013/01/23/openscad-design-tips-how-to-make-a-customizable-thing>. (abgerufen am 15.09.2016).

- MakerBot (2016). Thingiverse Developer Program Invites Community to Shape the Future of 3D Printing. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2016/04/11/thingiverse-developer-program>. (abgerufen am 14.09.2016).
- Malone, E. und Lipson, H. (2007). Fab@Home: The Personal Desktop Fabricator Kit. *Rapid Prototyping Journal*, 13(4):245–255.
- Manfredi, D., Calignano, F., Krishnan, M., Canali, R., Biamino, S., Pavese, M., Atzeni, E., und Iuliano, L. (2013). Direct Metal Laser Sintering: an additive manufacturing technology ready to produce lightweight structural parts for robotic applications. *La Metallurgia Italiana*, 2013(10):15–24.
- Markham, A. und Stavrova, S. (2016). Internet/Digital Research. In Silverman, D., (Hrsg.), *Qualitative Research*, Seiten 229–244. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Markillie, P. (2012). The Third Industrial Revolution: Special Report: Manufacturing and Innovation. *The Economist*, 403(8781):1–14.
- Markus, L. M. (2001). Toward a Theory of Knowledge Reuse: Types of Knowledge Reuse Situations and Factors in Reuse Success. *Journal of Management Information Systems*, 18(1):57–93.
- Marlow, C., Naaman, M., Boyd, D., und Davis, M. (2006). Position Paper, Tagging, Taxonomy, Flickr, Article, ToRead. In *Proceedings of the 15th International World Wide Web Conference (WWW)*, Seiten 31–40, Southampton, Großbritannien.
- Maslow, A. H. (1943). A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50(4):370–396.
- Masuch, B. T. (2016). Branchen-Trends der AM-Anwendungen. *formnext magazin*, 2016(2):9–10.
- materialise (2016). Mammoth Stereolithography. <http://materialise.com/mammoth-stereolithography>. (abgerufen am 12.08.2016).
- Matisons, M. (2015). Caterpillar Inc. Uses 3D Printing to Save Time, Money and Manufacturing Challenges. *3DPrint.com*, <https://3dprint.com/100875/caterpillar-inc-3d-printing/>.
- Mavroidis, C., DeLaurentis, K. J., Won, J., und Alam, M. (2001). Fabrication of Non-Assembly Mechanisms and Robotic Systems Using Rapid Prototyping. *Journal of Mechanical Design*, 123(4):516–524.
- Mayer, H. O. (2013). *Interview und schriftliche Befragung: Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung*. Oldenbourg, München, 6. Auflage.

- McCarthy, R. (2012). Our Lawyer Explains The Thingiverse Terms Of Service. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2012/09/26/our-lawyer-explains-the-thingiverse-terms-of-service>. (abgerufen am 13.09.2016).
- Mearian, L. (2016). Sales of desktop 3D printers explode, growing nearly 70%. *Computerworld*, <https://www.computerworld.com/article/3052384/3d-printing/sales-of-desktop-3d-printers-explode-growing-nearly-70.html>. (abgerufen am 20.04.2016).
- Meiners, W., Wissenbach, K. D., und Gasser, A. D. (1998). Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers. Deutsches Patentamt DE19649865 C1.
- Melchels, F. P., Domingos, M. A., Klein, T. J., Malda, J., Bártolo, P. J., und Hutmacher, D. W. (2012). Additive Manufacturing of Tissues and Organs. *Progress in Polymer Science*, 37(8):1079–1104.
- Mertens, P., Bodendorf, F., König, W., Picot, A., Schumann, M., und Hess, T. (2012). *Grundzüge der Wirtschaftsinformatik*. Springer, Berlin, 11. Auflage.
- Mertz, L. (2013). Dream It, Design It, Print It in 3-D: What Can 3-D Printing Do For You? *IEEE Pulse*, 4(6):15–21.
- Metcalf, J. S. (1998). *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. Routledge, London.
- Michel, D. (2012). Aus der Tiefe des Raumes: Makroübersicht 3D-Scanner: Technische Grundlagen und Einsatzgebiete. *iX*, 2012(12):50–59.
- Michel, D. (2014). Wie aus einem Guss: Konzepte und Arbeitsweisen der 3D-Drucker. *iX*, 2014(1):44–50.
- Microsoft (2016a). 3D Builder: Create and print 3D objects. <https://msdn.microsoft.com/mt561568.aspx>. (abgerufen am 14.03.2016).
- Microsoft (2016b). New 3D printing support for Windows 10. <https://msdn.microsoft.com/bg183398.aspx>. (abgerufen am 14.03.2016).
- Miles, M. B., Huberman, A. M., und Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. SAGE Publications, Los Angeles, 3. Auflage.
- Mironov, V., Prestwich, G., und Forgacs, G. (2007). Bioprinting Living Structures. *Journal of Materials Chemistry*, 17(20):2054–2060.
- Misoch, S. (2015). *Qualitative Interviews*. De Gruyter, Berlin.
- Mitchell, B. T. und Subramani, M. R. (2010). Knowledge Repositories and Knowledgeable Action. In *Proceedings of the 31st International Conference on Information Systems (ICIS)*, St. Louis, USA.

- Moglen, E. (1999). Anarchism Triumphant: Free Software and the Death of Copyright. *First Monday*, 4(8).
- Mohajeri, B., Poesche, J., Kauranen, I., und Nyberg, T. (2016). Shift to social manufacturing: Applications of additive manufacturing for consumer products. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Seiten 1–6, Beijing, China.
- Moore, G. A. (2014). *Crossing the Chasm: Marketing and Selling Disruptive Products to Mainstream Customers*. HarperBusiness, New York, 3. Auflage.
- Morris, A. (2015). *A Practical Introduction to In-depth Interviewing*. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Mota, C. (2011). The Rise of Personal Fabrication. In Goel, A. K., Harrell, F., Magerko, B., Nagai, Y., und Prophet, J., (Hrsg.), *Proceedings of the 8th Conference on Creativity and Cognition (C&C)*, Seiten 279–288, Atlanta, USA.
- Mukherjee, S., Uzzi, B., Jones, B., und Stringer, M. (2016). A New Method for Identifying Recombinations of Existing Knowledge Associated with High-Impact Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 33(2):224–236.
- Müller, A. und Karevska, S. (2016). How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain? EY's Global 3D printing Report 2016. [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report/\\$FILE/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report/$FILE/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report.pdf).
- Müller, O., Junglas, I., Vom Brocke, J., und Debortoli, S. (2016). Utilizing big data analytics for information systems research: challenges, promises and guidelines. *European Journal of Information Systems*, 25(4):289–302.
- Müller-Wienbergen, F., Müller, O., Seidel, S., und Becker, J. (2011). Leaving the Beaten Tracks in Creative Work: A Design Theory for Systems that Support Convergent and Divergent Thinking. *Journal of the Association for Information Systems*, 12(11):714–740.
- Murphy, S. V. und Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32(8):773–785.
- Murray, F. und O'Mahony, S. (2007). Exploring the Foundations of Cumulative Innovation: Implications for Organization Science. *Organization Science*, 18(6):1006–1021.
- Muzumdar, M. (2014). Shapeways in 2014: A Year in 3D Printing and What's Next for 2015. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/19390->

- shapeways-in-2014-a-year-in-3d-printing-and-whats-next-for-2015.html. (abgerufen am 09.08.2016).
- Muzumdar, M. (2015). Top 10 Products of 2015. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/23269-top-10-products-of-2015.html>. (abgerufen am 02.09.2016).
- Myers, D. G. (2014). *Psychologie*. Springer, Berlin, 3. Auflage.
- Myers, M. D. (1997). Qualitative Research in Information Systems. *MIS Quarterly*, 21(2):241–242.
- Myers, M. D. und Newman, M. (2007). The qualitative interview in IS research: Examining the craft. *Information and Organization*, 17(1):2–26.
- Nakamura, H., Suzuki, S., Sakata, I., und Kajikawa, Y. (2015). Knowledge combination modeling: The measurement of knowledge similarity between different technological domains. *Technological Forecasting and Social Change*, 94:187–201.
- Navarra, D. D. (2005). Governance, architecture and action: Claudio’s Shih. *European Journal of Information Systems*, 14(5):492–494.
- Navas, E. (2012). *Remix Theory: The Aesthetics of Sampling*. Springer, Wien.
- Nelson, A. J. (2009). Measuring knowledge spillovers: What patents, licenses and publications reveal about innovation diffusion. *Research Policy*, 38(6):994–1005.
- Nelson, R. R. und Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press, Cambridge.
- Nerkar, A. (2003). Old Is Gold? The Value of Temporal Exploration in the Creation of New Knowledge. *Management Science*, 49(2):211–229.
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Pearson, Harlow, 7. Auflage.
- Nitz, S. (2014). *3D-Druck: Der praktische Einstieg*. Galileo Press, Bonn.
- Obama, B. (2013). Remarks by the President in the State of the Union Address. *The White House*, <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/remarks-president-state-union-address>. (abgerufen am 07.03.2016).
- O’Connor, B. (2015). The Mysterious Persistence of the Cronut. *New York Times*, <https://www.nytimes.com/2015/05/08/magazine/the-mysterious-persistence-of-the-cronut.html>. (abgerufen am 08.06.2017).

- Oehlberg, L., Willett, W., und Mackay, W. E. (2015). Patterns of Physical Design Remixing in Online Maker Communities. In *Proceedings of the 33rd Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, Seiten 639–648, Seoul, Korea.
- O’Leary, D. E. (2008). Gartner’s hype cycle and information system research issues. *International Journal of Accounting Information Systems*, 9(4):240–252.
- Olla, P. (2015). Opening Pandora’s 3D Printed Box. *IEEE Technology and Society Magazine*, 34(3):74–80.
- Olsson, O. und Frey, B. S. (2002). Entrepreneurship as Recombinant Growth. *Small Business Economics*, 19(2):69–80.
- Oreg, S. und Nov, O. (2008). Exploring motivations for contributing to open source initiatives: The roles of contribution context and personal values. *Computers in Human Behavior*, 24(5):2055–2073.
- Osterloh, M. und Rota, S. (2007). Open source software development—Just another case of collective invention? *Research Policy*, 36(2):157–171.
- Osterwalder, A. (2004). *The Business Model Ontology: A Proposition in a Design Science Approach*. Dissertation, Université de Lausanne, Lausanne.
- Osterwalder, A. und Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Özkil, A. G. (2017). Collective design in 3D printing: A large scale empirical study of designs, designers and evolution. *Design Studies*, 51:66–89.
- Pahl, G. (1990). *Konstruieren mit 3D-CAD-Systemen: Grundlagen, Arbeitstechnik, Anwendungen*. Springer, Berlin.
- Pallari, J. H. P., Dalgarno, K. W., und Woodburn, J. (2010). Mass Customization of Foot Orthoses for Rheumatoid Arthritis Using Selective Laser Sintering. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57(7):1750–1756.
- Palvia, P. C., Leary, D., Mao, E., Midha, V., Pinjani, P., und Salam, A. F. (2004). Research Methodologies in MIS: An Update. *Communications of the Association for Information Systems*, 14:526–542.
- Papadimitriou, S., Papalexakis, E., Liu, B., und Xiong, H. (2015). Remix in 3D printing: What your sources say about you. In Gangemi, A., Leonardi, S., und Panconesi, A., (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International World Wide Web Conference (WWW 2015)*, Seiten 367–368, Florenz, Italien.
- Paré, G. (2004). Investigating Information Systems with Positivist Case Research. *Communications of the Association for Information Systems*, 13:233–264.

- Payton, F. C. (2016). Cultures of participation-for students, by students. *Information Systems Journal*, 26(4):319–338.
- Pearce, J. M. (2013). *Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs*. Elsevier, Amsterdam.
- Peels, J. (2010). Shapeways interviews Bre Pettis of Makerbot Industries. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/364-shapeways-interviews-bre-pettis-of-makerbot-industries.html>. (abgerufen am 26.10.2016).
- Peels, J. (2014). Hello World! We are YouMagine. *YouMagine Blog*, <https://blog.youmagine.com/2014/07/hello-world-we-are-youmagine/>. (abgerufen am 14.09.2016).
- Peels, J. (2015). 3DPL released: an Open Source License for 3D Printed things. *YouMagine Blog*, <https://blog.youmagine.com/2015/03/3dpl-released-an-open-source-license-for-3d-printed-things/>. (abgerufen am 14.09.2016).
- Pelkey, A. (2013). Design Unique Things Easily With MakerBot Customizer. *MakerBot Blog*, <https://www.makerbot.com/blog/2013/01/18/design-unique-things-easily-with-makerbot-customizer>. (angerufen am 15.09.2016).
- Peng, R. D. und Matsui, E. (2017). *The Art of Data Science: A Guide for Anyone Who Works with Data*. Skybrude Consulting, Baltimore.
- Perkins, D. N. (1997). Creativity’s Camel: The role of analogy in invention. In Ward, T. B., Smith, S. M., und Vaid, J., (Hrsg.), *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes*, Seiten 523–538. American Psychological Association, Washington.
- Perretti, F. und Negro, G. (2007). Mixing genres and matching people: a study in innovation and team composition in Hollywood. *Journal of Organizational Behavior*, 28(5):563–586.
- Peterson, S. (2015). UPDATE: Back Live! Thank You! Site Maintenance Scheduled For Tuesday 1/20 7pm. *Shapeways Forum*, <https://www.shapeways.com/forum/posts/108473/>. (abgerufen am 17.11.2016).
- Petrick, I. J. und Simpson, T. W. (2013). 3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition. *Research-Technology Management*, 56(6):12–16.
- Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., und Portolés Griñan, L. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4):1061–1079.

- Phaal, R., O'Sullivan, E., Routley, M., Ford, S., und Probert, D. (2011). A framework for mapping industrial emergence. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(2):217–230.
- Piegorsch, W. W. (2015). *Statistical Data Analytics: Foundations for Data Mining, Informatics, and Knowledge Discovery*. Wiley, Chichester.
- Piller, F. T. (2004). Mass Customization: Reflections on the State of the Concept. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16(4):313–334.
- Piller, F. T. (2008). *Mass Customization: Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 4. Auflage.
- Pine, II, B. J. (1993). *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business School Press, Boston.
- Porst, R. (2014). *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*. Lehrbuch. Springer VS, Wiesbaden, 4. Auflage.
- Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press, New York.
- Powell, A. (2012). Democratizing production through open source knowledge: from open software to open hardware. *Media, Culture & Society*, 34(6):691–708.
- Prince, J. D. (2014). 3D Printing: An Industrial Revolution. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 11(1):39–45.
- Quitter, D. (2015). 3D-gedruckte Spritzgussformen bei der Firma Seuffer. *konstruktionspraxis*, <https://www.konstruktionspraxis.de/3d-gedruckte-spritzgussformen-bei-der-firma-seuffer-a-502548/>. (abgerufen am 23.06.2016).
- R Core Team (2016). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- Raasch, C., Herstatt, C., und Lock, P. (2008). The Dynamics of User Innovation: Drivers and Impediments of Innovation Activities. *International Journal of Innovation Management*, 12(3):377–398.
- Ransbotham, S. und Kane, G. C. (2011). Membership Turnover and Collaboration Success in Online Communities: Explaining Rises. *MIS Quarterly*, 35(3):613–627.
- Rattat, C. (2016). *3D-Druck für Anspruchsvolle: Mit dem Ultimaker perfekte Werkstücke erstellen*. dpunkt.verlag, Heidelberg.
- Raymond, E. (1999). The Cathedral and the Bazaar. *Knowledge, Technology & Policy*, 12(3):23–49.

- Rayna, T. und Striukova, L. (2016a). A Taxonomy of Online 3D Printing Platforms. In van den Berg, B., van der Hof, S., und Kosta, E., (Hrsg.), *3D Printing, Information Technology and Law Series*, Seiten 153–166. T.M.C. Asser Press, Den Haag.
- Rayna, T. und Striukova, L. (2016b). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102:214–224.
- Reeves, P., Tuck, C. J., und Hague, R. (2011). Additive Manufacturing for Mass Customization. In Fogliatto, F. S. und da Silveira, G. J., (Hrsg.), *Mass Customization: Engineering and Managing Global Operations*, Seiten 275–289. Springer, London.
- Richardson, E. (2013a). Make Apps that Make Products with the New Shapeways 3D Printing API. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/1955-make-apps-that-make-products-with-the-new-shapeways-3d-printing-api.html>. (angerufen am 07.09.2016).
- Richardson, E. (2013b). ShapeJS Beta Launch. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/2355-shapejs-beta-launch.html>. (angerufen am 07.09.2016).
- Richardson, M. (2012). Designer/Maker: The Rise of Additive Manufacturing, Domestic-Scale Production and the Possible Implications for the Automotive Industry. *Computer-Aided Design and Applications*, PACE(2):33–48.
- Ritzer, G., Dean, P., und Jurgenson, N. (2012). The Coming of Age of the Prosumer. *American Behavioral Scientist*, 56(4):379–398.
- Rivadeneira, A. W., Gruen, D. M., Muller, M. J., und Millen, D. R. (2007). Getting Our Head in the Clouds: Toward Evaluation Studies of Tagclouds. In *Proceedings of the 25th Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, San Jose, USA.
- Rivera, J. und Van der Meulen, R. (2015). Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing. *Gartner*, <https://www.gartner.com/newsroom/id/3117917>. (abgerufen am 01.07.2016).
- Rochet, J.-C. und Tirole, J. (2003). Platform Competition in Two-Sided Markets. *Journal of the European Economic Association*, 1(4):990–1029.
- Rochet, J.-C. und Tirole, J. (2006). Two-sided markets: a progress report. *The RAND Journal of Economics*, 37(3):645–667.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York, 5. Auflage.

- Romer, P. M. (2008). Economic Growth. *The Concise Encyclopedia of Economics*, <http://www.econlib.org/library/Enc/EconomicGrowth.html>. (abgerufen am 26.09.2016).
- Rosenbach, M. und Schulz, T. (2012). Die nächste Dimension. *Der Spiegel*, 2012(52):70–73.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the black box: Technology and economics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rothenberger, M. A., Kulkarni, U. R., und Dooley, K. (1998). Critical Success Factors for Software Projects. In *Proceedings of the 19th International Conference on Information Systems (ICIS)*, Helsinki, Finnland.
- Rothley, J. (1991). *Fertigungsgerechtes Konstruieren mit CAD: Technische Formelemente steigern die Wirtschaftlichkeit*. VDI Verlag, Düsseldorf.
- Rungtusanatham, M. J. und Salvador, F. (2008). From Mass Production to Mass Customization: Hindrance Factors, Structural Inertia, and Transition Hazard. *Production and Operations Management*, 17(3):385–396.
- Rydberg, H. (2016). New Category: Camera & Video. *Shapeways Forum*, <https://www.shapeways.com/forum/t/new-category-camera-video.52240/#post-159609>. (abgerufen am 02.09.2016).
- Sachs, E. M., Haggerty, J. S., Cima, M. J., und Williams, P. A. (1993). Three-Dimensional Printing Techniques. US Patent US5204055 A.
- Safizadeh, M. H., Ritzman, L. P., Sharma, D., und Wood, C. (1996). An Empirical Analysis of the Product-Process Matrix. *Management Science*, 42(11):1576–1591.
- Saldaña, J. (2009). *The Coding Manual for Qualitative Researchers*. SAGE Publications, Los Angeles.
- Salter, A. und Alexy, O. (2014). *The Nature of Innovation*. Oxford University Press, Oxford.
- Sambamurthy, V. und Subramani, M. R. (2005). Special Issue on Information Technologies and Knowledge Management. *MIS Quarterly*, 29(2):1–7.
- Sandelowski, M. (1991). Telling Stories: Narrative Approaches in Qualitative Research. *Image: the Journal of Nursing Scholarship*, 23(3):161–166.
- Sapsed, J. und Tschang, F. T. (2014). Art is long, innovation is short: Lessons from the Renaissance and the digital age. *Technological Forecasting and Social Change*, 83:127–141.

- Scheffer, D. und Heckhausen, H. (2010). Eigenschaftstheorien der Motivation. In Heckhausen, J. und Heckhausen, H., (Hrsg.), *Motivation und Handeln*, Seiten 43–72. Springer, Berlin.
- Schiffler, R. (2015). Revolution auf leisen Sohlen. *VDI nachrichten*, 2015(43):2.
- Schlosser, G. (2016). 3D-Drucker – Die Revolution nimmt sich Zeit. *DERWESTEN*, <https://www.derwesten.de/wirtschaft/3d-drucker-die-revolution-nimmt-sich-zeit-id11959264.html>. (abgerufen am 10.03.2017).
- Schmid, M. (2013). Additive Verfahren werden die Welt verändern. *Technische Rundschau*, 2013(11):60–65.
- Schmid, M. (2015). *Selektives Lasersintern (SLS) mit Kunststoffen: Technologie, Prozesse und Werkstoffe*. Carl Hanser, München.
- Schmidt, G. M. und Druehl, C. T. (2008). When Is a Disruptive Innovation Disruptive? *Journal of Product Innovation Management*, 25(4):347–369.
- Schneeweiß, C. (1997). *Einführung in die Produktionswirtschaft*. Springer, Berlin, 6. Auflage.
- Schoenmakers, W. und Duysters, G. (2010). The technological origins of radical inventions. *Research Policy*, 39(8):1051–1059.
- Schoffer, F. (2016a). 3D Hubs and Thingiverse enable you to 3D print anything, anywhere around the world. *3D Hubs*, <https://www.3dhubs.com/press/thingiverse-partnership>. (abgerufen am 25.10.2016).
- Schoffer, F. (2016b). 3D Hubs raises \$7M in series B round to expand global 3D printing marketplace. *3D Hubs*, <https://www.3dhubs.com/press/3d-hubs-raises-series-b-round>. (abgerufen am 23.08.2016).
- Schroth, P. und Bode, O. F. (2017). Richtlinie zur Förderung transnationaler Forschungsprojekte innerhalb des ERA-NET „M-era.Net II“ „Materialwissenschaft und Werkstofftechnologien“. *BMBF*, <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1339.html>. (abgerufen am 08.06.2017).
- Schultze, U. und Avital, M. (2011). Designing interviews to generate rich data for information systems research. *Information and Organization*, 21(1):1–16.
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Harper and Brothers, New York.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *Annals of Statistics*, 6(2):461–464.

- Scotchmer, S. (1991). Standing on the Shoulders of Giants: Cumulative Research and the Patent Law. *The Journal of Economic Perspectives*, 5(1):29–41.
- Scott, C. (2016). Speedy 3D Printed Prototypes: German RepRap Comes Through for Airbus Helicopters Again. *3DPrint.com*, <https://3dprint.com/136105/german-reprap-airbus-camera/>. (abgerufen am 23.06.2016).
- Scott, D. (2012). A Portal into the Future: 2011 in Review, and What’s to Come. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/1155-A-Portal-into-the-Future-2011-in-Review,-and-Whats-to-Come.html>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Sculpteo (2016). Sculpteo’s 3D Printing Materials. <https://www.sculpteo.com/en/materials/>. (abgerufen am 12.08.2016).
- Seidel, S., Müller-Wienbergen, F., und Becker, J. (2010). The Concept of Creativity in the Information Systems Discipline: Past, Present, and Prospects. *Communications of the Association for Information Systems*, 27(1):217–242.
- Seneviratne, O. und Monroy-Hernández, A. (2010). Remix Culture on the Web: A Survey of Content Reuse on Different User-Generated Content Websites. In *Proceedings of the 2nd Web Science Conference (WebSci)*, Raleigh, USA.
- Senyard, J., Baker, T., Steffens, P., und Davidsson, P. (2014). Bricolage as a Path to Innovativeness for Resource-Constrained New Firms. *Journal of Product Innovation Management*, 31(2):211–230.
- Seravalli, A. (2011). Democratizing production: challenges in co-designing enabling platforms for social innovation. In *Proceedings of The Tao of Sustainability: International Conference on Sustainable Design Strategies in a Globalization Context*, Seiten 494–500, Peking, China.
- Seshadri, S. und Shapira, Z. (2003). The flow of ideas and timing of evaluation as determinants of knowledge creation. *Industrial and Corporate Change*, 12(5):1099–1124.
- Shafer, S. M., Smith, H. J., und Linder, J. C. (2005). The power of business models. *Business Horizons*, 48(3):199–207.
- Shapeways (2015). Shapeways Raises \$30 Million to Redefine How Products Are Made. *Shapeways Press Release*, <https://www.shapeways.com/presscorner/press-release/2015-06-30-shapeways-raises-30-million-inkef-capital>. (abgerufen am 07.09.2016).
- Shapeways (2016a). 3D Printing Made Easy: Free tools and Support from Uploading to Unboxing. *Shapeways Tutorials*, <https://www.shapeways.com/create>. (abgerufen am 10.08.2016).

- Shapeways (2016b). 3D Printing Materials: Plastic, Metal, Ceramics and More. <https://www.shapeways.com/materials>. (abgerufen am 12.08.2016).
- Shapeways (2016c). How to be a Successful 3D Printing Shop Owner. *Shapeways Tutorials*, <https://www.shapeways.com/tutorials/shops/how-to-be-a-successful-3d-printing-shop-owner>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Shapeways (2016d). How to Set up a Product for Sale on Shapeways. *Shapeways Tutorials*, <https://www.shapeways.com/tutorials/how-to-set-up-product>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Shapeways (2016e). Open your Shop in a Few Easy Steps. *Shapeways Tutorials*, https://www.shapeways.com/tutorials/open_shop. (abgerufen am 09.08.2016).
- Shapeways (2016f). Pricing and marking up your products. *Shapeways Tutorials*, <https://www.shapeways.com/tutorials/shops/pricing-and-marking-up-your-products>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Shapeways (2016g). Shop Owner Payments - How It Works. *Shapeways Tutorials*, <https://www.shapeways.com/tutorials/shops/how-we-pay>. (abgerufen am 09.08.2016).
- Shapiro, C. und Varian, H. R. (1999). *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*. Harvard Business School Press, Boston.
- Shewbridge, R., Hurst, A., und Kane, S. K. (2014). Everyday Making: Identifying Future Uses for 3D Printing in the Home. In Wakkary, R., Harrison, S., Neustaedter, C., Bardzell, S., und Paulos, E., (Hrsg.), *Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems (DIS)*, Seiten 815–824, Vancouver, Kanada.
- Shneiderman, B. (2007). Creativity Support Tools: Accelerating Discovery and Innovation. *Communications of the ACM*, 50(12):20–32.
- Short, D. (2012). Teaching Scientific Concepts using a Virtual World: Minecraft. *Teaching Science*, 58(3):55–58.
- Silberbauer, J. und Zeppenfeld, M. (2016). Der 3D-Druck im Laboralltag. *Quintessenz Zahntechnik*, 42(7):954–963.
- Silverman, D., (Hrsg.) (2016). *Qualitative Research*. SAGE Publications, Thousand Oaks, 4. Auflage.
- Simkin, M. und Roychowdhury, V. (2006). Do you sincerely want to be cited? Or: read before you cite. *Significance*, 3(4):179–181.

- Simonton, D. K. (2004). *Creativity in Science: Chance, Logic, Genius, and Zeitgeist*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sinclair, J. und Cardew-Hall, M. (2008). The folksonomy tag cloud: when is it useful? *Journal of Information Science*, 34(1):15–29.
- Skinner, W. (1966). Production Under Pressure. *Harvard Business Review*, 44(6):139–146.
- Skinner, W. (1985). *Manufacturing: The Formidable Competitive Weapon*. Wiley, New York.
- Sojer, M., Alexy, O., Kleinknecht, S., und Henkel, J. (2014). Understanding the Drivers of Unethical Programming Behavior: The Inappropriate Reuse of Internet-Accessible Code. *Journal of Management Information Systems*, 31(3):287–325.
- Sojer, M. und Henkel, J. (2010). Code Reuse in Open Source Software Development: Quantitative Evidence, Drivers, and Impediments. *Journal of the Association for Information Systems*, 11(12):868–901.
- Sonderforschungsbereich 814 – Additive Fertigung (2016). Projektstruktur. <https://www.sfb814.forschung.uni-erlangen.de/projekte/>. (abgerufen am 25.10.2016).
- Sonenshein, S. (2014). How Organizations Foster the Creative Use of Resources. *Academy of Management Journal*, 57(3):814–848.
- Soukhoroukova, A., Spann, M., und Skiera, B. (2012). Sourcing, Filtering, and Evaluating New Product Ideas: An Empirical Exploration of the Performance of Idea Markets. *Journal of Product Innovation Management*, 29(1):100–112.
- Spagnoletti, P., Resca, A., und Lee, G. (2015). A design theory for digital platforms supporting online communities: A multiple case study. *Journal of Information Technology*, 30(4):364–380.
- Stake, R. E. (1995). *The Art of Case Study Research*. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Stalder, F. (2009). Neun Thesen zur Remix-Kultur. *iRIGHTS info*, https://irights.info/wp-content/uploads/fileadmin/texte/material/Stalder_Remixing.pdf. (abgerufen am 19.01.2017).
- Stanko, M. A. (2016). Toward a Theory of Remixing in Online Innovation Communities. *Information Systems Research*, 27(4):773–791.
- Staver, M. (2014). Nervous System Jewelry in Brass. *Nervous System Blog*, <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=5925>. (abgerufen am 04.08.2016).

- Stemp-Morlock, G. (2010). Personal Fabrication. *Communications of the ACM*, 53(10):14–15.
- Strassmann, B. (2014). Ausdruck in der dritten Dimension. *Die Zeit*, 2014(48):33–34.
- Stratasys (2012). Stratasys and Objet Agree to Combine to Create a Leader in 3D Printing and Direct Digital Manufacturing. <http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?releaseid=664239>. (abgerufen am 24.02.2016).
- Stratasys (2013). Stratasys to Acquire MakerBot, Merging Two Global 3D Printing Industry Leaders. <http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=772534>. (abgerufen am 03.03.2016).
- Strawter, B. (2014). 5 Trends Driving 3D Printed Jewelry Today. *i.materialise Blog*, <https://i.materialise.com/blog/5-trends-driving-3d-printed-jewelry-today/>. (abgerufen am 05.08.2016).
- Strickland, E. (2013). Shapeways Bringing 3-D Printing to the Masses. *IEEE Spectrum*, 50(11):22.
- Strumsky, D. und Lobo, J. (2015). Identifying the sources of technological novelty in the process of invention. *Research Policy*, 44(8):1445–1461.
- Strumsky, D., Lobo, J., und van der Leeuw, S. (2012). Using patent technology codes to study technological change. *Economics of Innovation and New Technology*, 21(3):267–286.
- Suarez, F. F., Cusumano, M. A., und Fine, C. H. (1996). An Empirical Study of Manufacturing Flexibility in Printed Circuit Board Assembly. *Operations Research*, 44(1):223–240.
- Susarla, A., Oh, J.-H., und Tan, Y. (2012). Social Networks and the Diffusion of User-Generated Content: Evidence from YouTube. *Information Systems Research*, 23(1):23–41.
- Swenson, K. (2016). What Is Generative Design? *Autodesk Redshift*, <https://redshift.autodesk.com/what-is-generative-design>. (abgerufen am 18.10.2016).
- Symes, M. D., Kitson, P. J., Yan, J., Richmond, C. J., Cooper, G. J. T., Bowman, R. W., Vilbrandt, T., und Cronin, L. (2012). Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis and analysis. *Nature Chemistry*, 4(5):349–354.
- Szulanski, G. (2000). The Process of Knowledge Transfer: A Diachronic Analysis of Stickiness. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1):9–27.

- Tanenbaum, J. G., Williams, A. M., Desjardins, A., und Tanenbaum, K. (2013). Democratizing Technology: Pleasure, Utility and Expressiveness in DIY and Maker Practice. In *Proceedings of the 31st SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, Seiten 2603–2612, Paris, Frankreich.
- Taylor, F. W. und Roesler, R. (2011). *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung: The principles of scientific management*. Salzwasser, Paderborn.
- Teece, D. J. (2010). Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, 43(2-3):172–194.
- ter Voert, R. (2015). Shapeways: „We zijn de Amazon voor 3D-printing“. *Emerge*, <https://www.emerge.nl/nieuws/shapeways-amazon-3dprinting>. (abgerufen am 08.08.2016).
- Thiesse, F., Wirth, M., Kemper, H.-G., Moisa, M., Morar, D., Lasi, H., Piller, F. T., Buxmann, P., Mortara, L., Ford, S., und Minshall, T. (2015). Economic Implications of Additive Manufacturing and the Contribution of MIS. *Business & Information Systems Engineering*, 57(2):139–148.
- Thilmany, J. (2009). Democratization of Manufacturing. *Mechanical Engineering*, 131(4):30–33.
- Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B., und Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(2):737–760.
- Thorén, C., Ågerfalk, P. J., und Edenius, M. (2014). Through the Printing Press: An Account of Open Practices in the Swedish Newspaper Industry. *Journal of the Association for Information Systems*, 15(11):779–804.
- Tidhar, L. (2014). Exclusive Infographic: The Great Wheel Of Food Mashups. *Co.Design*, <https://www.fastcodesign.com/3031349>. (abgerufen am 19.09.2016).
- Tracy, S. J. (2013). *Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis, Communicating Impact*. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Troxler, P. (2010). Commons-Based Peer-Production of Physical Goods: Is There Room for a Hybrid Innovation Ecology? In *Proceedings of the 3rd Free Culture Research Conference (FCRC)*, Berlin, Deutschland.
- Troxler, P. und van Woensel, C. (2016). How Will Society Adopt 3D Printing? In van den Berg, B., van der Hof, S., und Kosta, E., (Hrsg.), *3D Printing*, Information Technology and Law Series, Seiten 183–212. T.M.C. Asser Press, Den Haag.

- Tu, Y. und Dean, P. (2011). *One-of-a-Kind Production*. Springer, London.
- Tuck, C. J., Hague, R. J. M., Ruffo, M., Ransley, M., und Adams, P. (2008). Rapid Manufacturing Facilitated Customization. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(3):245–258.
- Tuite, K. und Smith, A. M. (2012). Emergent Remix Culture in an Anonymous Collaborative Art System. In *Proceedings of the 8th Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AAAI)*, Seiten 16–23, Toronto, Kanada.
- Turpin, M., Matthee, M., und Kruger, A. (2015). The Teaching of Creativity in Information Systems Programmes at South African Higher Education Institutions. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 19(3):278–288.
- Uppala, V. und Ankem, K. (2017). A Case Study on the Use of 3-D Printing Technologies in an Educational Institution. In Kavoura, A., Sakas, D. P., und Tomaras, P., (Hrsg.), *Strategic Innovative Marketing*, Springer Proceedings in Business and Economics, Seiten 547–552. Springer, Cham.
- Usher, A. P. (2011). *A History of Mechanical Inventions*. Dover Publications, New York.
- Uzzi, B., Mukherjee, S., Stringer, M., und Jones, B. (2013). Atypical Combinations and Scientific Impact. *Science*, 342(6157):468–472.
- Vajna, S., Weber, C., Bley, H., und Zeman, K. (2009). *CAX für Ingenieure*. Springer, Berlin, 2. Auflage.
- Vallés, J. L., (Hrsg.) (2014). *Additive Manufacturing in FP7 and Horizon 2020: Report from the EC Workshop on Additive Manufacturing*, Brüssel, Belgien.
- Van de Ven, A. H. (1986). Central Problems in the Management of Innovation. *Management Science*, 32(5):590–607.
- Van de Ven, A. H. (1999). *The Innovation Journey*. Oxford University Press, Oxford.
- van den Berg, B., van der Hof, S., und Kosta, E., (Hrsg.) (2016). *Information Technology and Law Series*, Band 26. T.M.C. Asser Press, Den Haag.
- Van Dijk, C. und Van den Ende, J. (2002). Suggestion systems: Transferring employee creativity into practicable ideas. *R&D Management*, 32(5):387–395.
- Van West, A. (2011). The History of 3D Printing. *3Ders.org*, <http://www.3ders.org/3d-printing/3d-printing-history.html>. (abgerufen am 06.11.2015).

- Vanderkay, J. (2015). 3MF Consortium Launches To Advance 3D Printing Technology: Industry leaders release new open specification to make 3D printing faster and easier. *3MF Consortium*, <http://3mf.io/3mf-consortium-launches-to-advance-3d-printing-technology/>. (abgerufen am 11.03.2016).
- Vanderkay, J. (2016). ASTM and 3MF Sign Liaison Agreement: Cooperative Relationship Launched to Share 3D Printing, Additive Manufacturing Information. <http://www.3mf.io/astm-and-3mf-sign-liaison-agreement/>. (abgerufen am 13.06.2016).
- Vasilescu, B., Filkov, V., und Serebrenik, A. (2013). StackOverflow and GitHub: Associations between Software Development and Crowdsourced Knowledge. In *Proceedings of the International Conference on Social Computing (SocialCom)*, Seiten 188–195, Washington, USA.
- VDI-Richtlinie 3405 2014-12 (2014). Additive Fertigungsverfahren – Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen. Beuth, Berlin.
- Venables, W. N. und Ripley, B. D. (2007). *Modern applied statistics with S*. Statistics and computing. Springer, New York, 4. Auflage.
- Ventola, C. L. (2014). Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10):704–711.
- Vitharana, P., King, J., und Chapman, H. S. (2010). Impact of Internal Open Source Development on Reuse: Participatory Reuse in Action. *Journal of Management Information Systems*, 27(2):277–304.
- vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Kai, R., Plattfaut, R., und Cleven, A. (2009). Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process. In *Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Verona, Italien.
- von Hippel, E. (1986). Lead Users: A Source of Novel Product Concepts. *Management Science*, 32(7):791–805.
- von Hippel, E. (1988). *The Sources of Innovation*. Oxford University Press, New York.
- von Hippel, E. (2005). *Democratizing Innovation*. MIT Press, Cambridge.
- von Hippel, E., de Jong, J. P., und Flowers, S. (2012). Comparing Business and Household Sector Innovation in Consumer Products: Findings from a Representative Study in the United Kingdom. *Management Science*, 58(9):1669–1681.
- von Hippel, E., Ogawa, S., und De Jeroen, J. P. (2011). The Age of the Consumer-Innovator. *MIT Sloan Management Review*, 53(1):27–35.

- von Hippel, E. und von Krogh, G. (2003). Open Source Software and the “Private-Collective” Innovation Model: Issues for Organization Science. *Organization Science*, 14(2):209–223.
- von Hippel, E. und von Krogh, G. (2006). Free revealing and the private-collective model for innovation incentives. *R&D Management*, 36(3):295–306.
- von Hippel, E. und von Krogh, G. (2016). CROSSROADS—Identifying Viable “Need–Solution Pairs”: Problem Solving Without Problem Formulation. *Organization Science*, 27(1):207–221.
- von Krogh, G. (2012). How does social software change knowledge management? Toward a strategic research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 21(2):154–164.
- von Krogh, G., Haefliger, S., Spaeth, S., und Wallin, M. W. (2012). Carrots and Rainbows: Motivation and Social Practice in Open Source Software Development. *MIS Quarterly*, 36(2):649–676.
- von See, C. und Meindorfer, M. (2016). 3D printing: Additive processes in dentistry. *Laboratory*, 2016(5):13–20.
- Wachtel, D. (2016). Gute Gründe für den 3-D-Druck im Labor: Fünf wissenschaftliche Punkte zu Hochleistungskunststoffen. *DZW Zahntechnik*, 2016(3):28–29.
- Wagner, S. M. und Walton, R. O. (2016). Additive manufacturing’s impact and future in the aviation industry. *Production Planning & Control*, 27(13):1124–1130.
- Wallich, P. (2010). 3-D Printers Proliferate [Hands On]. *IEEE Spectrum*, 47(9):23.
- Watson, M. und Shove, E. (2008). Product, Competence, Project and Practice: DIY and the dynamics of craft consumption. *Journal of Consumer Culture*, 8(1):69–89.
- Watson, S. und Hewett, K. (2006). A Multi-Theoretical Model of Knowledge Transfer in Organizations: Determinants of Knowledge Contribution and Knowledge Reuse. *Journal of Management Studies*, 43(2):141–173.
- Webster, J. und Watson, R. T. (2002). Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly*, 26(2):xiii–xxiii.
- Wegrzyn, T. F., Golding, M., und Archer, R. H. (2012). Food Layered Manufacture: A New Process for Constructing Solid Foods. *Trends in Food Science & Technology*, 27(2):66–72.
- Weijmarshausen, P. (2010). Shapeways raises \$5M and opens HQ in New York. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/595-Shapeways-raises-5M-and-opens-HQ-in-New-York.html>. (abgerufen am 08.08.2016).

- Weijmarshausen, P. (2013). Advancing the Mission of Shapeways: 3D Printing for Everyone. *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/2029-Advancing-the-Mission-of-Shapeways-3D-Printing-for-Everyone.html>. (abgerufen am 08.08.2016).
- Weijmarshausen, P. (2016). Shapeways receives the first HP Multi Jet Fusion 3D Printer! *Shapeways Blog*, <https://www.shapeways.com/blog/archives/25462-shapeways-receives-the-first-hp-multi-jet-fusion-3d-printer.html>. (abgerufen am 07.09.2016).
- Weisberg, S. (2014). *Applied Linear Regression*. Wiley, Hoboken, 4. Auflage.
- Weitzman, M. L. (1998). Recombinant Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 113(331-360).
- Weller, C., Kleer, R., und Piller, F. T. (2015). Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*, 164:43–56.
- West, J. und Kuk, G. (2016). The complementarity of openness: How MakerBot leveraged Thingiverse in 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change*, 102:169–181.
- West, J. und O’Mahony, S. (2008). The Role of Participation Architecture in Growing Sponsored Open Source Communities. *Industry & Innovation*, 15(2):145–168.
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Use R. Springer, New York.
- Wickham, H. und Francois, R. (2016). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Wickham, H. und Grolemund, G. (2016). *Data Science With R*. O’Reilly, Farnham.
- Wilde, T. und Hess, T. (2007). Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik: Eine empirische Untersuchung. *Wirtschaftsinformatik*, 49(4):280–287.
- Witt, E. (2015). Additive Fertigung und 3D-Druck: Perspektiven einer neuen Technologie. *Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina*, <https://www.leopoldina.org/de/politikberatung/arbeitsgruppen/additive-fertigung/>. (abgerufen am 25.10.2016).
- Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., und Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6):713–726.

- Wohlers, T. T. (2011). Making Products By Using Additive Manufacturing. *Manufacturing Engineering*, 146(4):70–77.
- Wohlers, T. T. und Caffrey, T. (2013a). Additive Manufacturing: Going Mainstream. *Manufacturing Engineering*, 150(6):67–73.
- Wohlers, T. T. und Caffrey, T. (2013b). *Wohlers Report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates, Fort Collins.
- Wohlers, T. T. und Caffrey, T. (2014). *Wohlers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates, Fort Collins.
- Wohlers, T. T. und Caffrey, T. (2015). *Wohlers Report 2015: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates, Fort Collins.
- Wohlers, T. T., Caffrey, T., und Campbell, R. I. (2016). *Wohlers Report 2016: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates, Fort Collins.
- Wohlers, T. T., Campbell, I., Diegel, O., und Kowen, J. (2017). *Wohlers Report 2017: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates, Fort Collins.
- Wolfe, J. (2016). How 3D Printing Is Transforming Manufacturing: An Interview With Shapeways CEO Peter Weijmarshausen. *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/joshwolfe/2016/05/19/how-3d-printing-is-transforming-manufacturing-an-interview-with-shapeways-ceo-peter-weijmarshausen>. (abgerufen am 12.01.2017).
- Wong, K. V. und Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012(4):1–10.
- Yew, J. und Monroy-Hernández, A. (2014). Harnessing Serendipity: A Study of Accidental Creative Collaborations in Two Online Remixing Communities. In *Selected Papers of Internet Research 15: The 15th Annual Meeting of the Association of Internet Researchers (AoIR)*, Daegu, Korea.
- Yin, R. K. (2003). *Applied Social Research Methods Series*, Band 5. SAGE Publications, Thousand Oaks, 3. Auflage.
- Yu, L. L. und Nickerson, J. V. (2011). Generating creative ideas through crowds: An experimental study of combination. In *Proceedings of the 32nd International Conference on Information Systems (ICIS)*, Shanghai, China.

- Yves, B., Rodhain, F., und Marci, J. (2016). Frugal Innovations and 3D Printing: Insights from the Field. *Journal of Innovation Economics & Management*, 2016(3):57–76.
- Zaleski, A. (2016). Why These Big Companies Want a New 3D File Format. *Fortune*, <https://fortune.com/2016/02/05/3d-file-format/>. (abgerufen am 20.04.2016).
- Zhai, Y., Lados, D. A., und LaGoy, J. L. (2014). Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation. *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 66(5):808–816.
- Zhang, J.-L., Zhang, Z., und Han, Y. (2017). Research on manufacturability optimization of discrete products with 3D printing involved and lot-size considered. *Journal of Manufacturing Systems*, 43:150–159.
- Zimmermann, H.-D. und Alt, R. (2001). Introduction to Special Section – Business Models. *Electronic Markets*, 11(1):1019–6781.
- Zott, C., Amit, R., und Massa, L. (2011). The Business Model: Recent Developments and Future Research. *Journal of Management*, 37(4):1019–1042.

Anhang

A.1 Credits

Abbildung 2.1	12
„Computer“ von Edward Boatman auf the Noun Project (CC BY 3.0 US).	
„Pyramid“ von Juan Pablo Bravo auf the Noun Project (CC BY 3.0 US).	
„Pyramid Transparent“ von Juan Pablo Bravo auf the Noun Project (CC BY 3.0 US).	
„Pyramid Divided“ von Juan Pablo Bravo auf the Noun Project (CC BY 3.0 US).	
Abbildung 3.29	84
„Mobius Nautilus“ von Joaquin Baldwin auf Shapeways.	
Abbildung 3.42	104
„Parametric Music Box“ von wizard23 (CC BY 3.0).	
Abbildung 3.44	110
„Sculpture of San Francisco Housing Prices“ von dougmccune (CC BY 3.0).	
„Tower of Pi“ von roman_heggin (CC BY 3.0).	
„Stereographic projection“ von henryseg (CC BY NC SA 3.0).	
„Three Heart Gears“ von emmett (CC BY SA 3.0).	
Abbildung 3.45	110
„Eiffel tower“ von Newcandle (CC BY SA 3.0).	
„To Make or not to Make“ von LeFabShop (CC BY NC 3.0).	
„T-Rex Skeleton“ von MakerBot (CC BY NC SA 3.0).	
„gCreate Official Rocket Ship“ von gCreate (CC BY SA 3.0).	
Tabelle 3.15	113
„3D Hubs Marvin - Key Chain“ von 3DHubs (CC BY 3.0).	
„Cute Octopus Says Hello“ von MakerBot (CC BY 3.0).	
„Gear Bearing“ von emmett (CC BY SA 3.0).	
„Owl statue“ von cushwa (CC BY 3.0).	

„Screwless Cube Gears“ von emmett (CC BY SA 3.0).	
„Nautilus Gears“ von MishaT (CC BY 3.0).	
„Whistle“ von Zaggo (CC BY NC 3.0).	
„Stretchy Bracelet“ von emmett (CC BY SA 3.0).	
„Screwless Heart Gears“ von emmett (CC BY SA 3.0).	
„Companion Cube Upgrade“ von Landru (GNU GPL).	
Abbildung 4.2	121
„Idea“ von Chris Homan auf the Noun Project (CC BY 3.0 US).	
Abbildung 4.5	136
„Printrbot Simple Tower zip tie board enclosure“ von stalledaction (CC BY-SA 3.0).	
„Holder for printrboard - original printrbot“ von schrotti (CC BY-SA 3.0).	
„Open Hardware Logo for objects“ von padorange (CC BY-SA 3.0).	
„PRINTRBOT Logo“ von roboto (CC BY-SA 3.0).	
Abbildung 4.6	137
„Customizable Ring“ von MakerBot (CC BY 3.0).	
Abbildung 4.7	138
„Democratic Party Donkey“ von MakerBot (CC BY 3.0).	
„GOP Elephant“ von MakerBot (CC BY 3.0).	
„Debate Coin“ von Karr (CC BY-NC 3.0).	
Abbildung 4.8	139
„\$0.25 Bottle Opener“ von hoeken (GNU GPL).	
„Frame mounted beer opener“ von Ktronik (CC BY 3.0).	
„Coin-op Bottle Opener“ von hoeken (GNU GPL).	
Abbildung 4.9	142
„Mr. Jaws“ von Mahoney (CC BY-SA 3.0).	
„Cable Organizer“ von christophermurphy (CC BY-NC 3.0).	
Remix-Prozess – Spaß	195
„Baracktopus“ von CupricReki (CC BY-SA 3.0).	
„Bucket O’ Octopi“ von yeoldebrian (CC BY-SA 3.0).	
„Barack Obama“ von MakerBot (CC BY 3.0).	
„Sign of the Horns“ von dietz1 (GNU GPL).	

Remix-Prozess – Fortschritt	196
„Finger tightening ring for hex nuts“ von Basjohan (CC BY-SA 3.0).	
„SMA/RP-SMA Finger-Tightening Ring“ von MazaaFIN (CC BY-NC 3.0)	
Remix-Prozess – Inspiration	198
„Rose with Stem & Thorns & Sepals & Hip for Valentine’s Day“ von kresty (CC BY-NC 3.0).	
„Anniversary Roses“ von XYZ Workshop (CC BY-SA 3.0).	
„Boutonniere“ von FreeTinkers (CC BY-SA 3.0).	
„Rose + Vase“ von MicrosoftStore (CC BY 3.0).	
Remix-Prozess – Voraussetzung	200
„Lord Farquaad Bust“ von mfritz (CC BY 3.0).	
„Alessio“ von thowe (CC BY-SA 3.0).	
Remix-Prozess – Effizienz	202
„Biochemistry Chess Set“ von chemteacher628 (CC BY-NC-SA 3.0).	
„transfer RNA“ von aarono (CC BY-SA 3.0).	
„DNA polymerase“ von aarono (CC BY-SA 3.0).	
„Maltose molecule model“ von ejo60 (CC BY-SA 3.0).	
„Reprap Double Helix“ von Landru (Public Domain).	
Remix-Prozess – Lernen	204
„Customizable Beefy Trophy + Blender Bake Tutorial“ von mathgrrl (CC BY-NC-SA 3.0).	
„Beefy Trophy“ von mathgrrl (CC BY-SA 3.0).	
„io_mesh_openscad“ von graphicsforge (GNU GPL).	
„Trophy girl“ von lordkylo (CC BY-SA 3.0).	
„Beefy Arm Starter Kit“ von atartanian (CC BY-SA 3.0).	

A.2 Lizenzinformationen



Diese Dissertation steht unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0).

Neben dem Hinweis auf den Autor, die Quelle und die Lizenz enthält diese CC-Lizenz-Variante keine weiteren Einschränkungen für den Nutzer. Die Verwendung des Werkes ist frei. Es kann in jeder Form bearbeitet werden, was insbesondere auch die Nutzung in Remixen ermöglicht. Außerdem darf der Inhalt kommerziell genutzt werden. Die Lizenz steht im Einklang mit der Berliner Open-Access-Erklärung und der Budapester Open-Access-Initiative und minimiert mögliche Restriktionen für die Nutzung in Forschung und Lehre.

Unter <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0> finden Sie eine vereinfachte Darstellung der Lizenz. Die vollständigen Lizenzbedingungen sind zu finden unter <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>.

Curriculum Vitae

Zur Person

Name Marco Wirth
Geburtsdatum 03.05.1987
Geburtsort Bamberg



Akademische und schulische Ausbildung

2012 – 2017 Promotion; Julius-Maximilians-Universität Würzburg
2009 – 2012 Master of Science in Computer Science; Universität Paderborn, Universität Helsinki
2006 – 2009 Bachelor of Science in Computer Science; Universität Paderborn
1997 – 2006 Allgemeine Hochschulreife; Clavius-Gymnasium Bamberg

Publikationen

- Flath, C. M., Friesike, S., Wirth, M., und Thiesse, F. (2017). Copy, Transform, Combine: Exploring the Remix as a Form of Innovation. *Journal of Information Technology*, 32(4):306–325.
- Wirth, M., Friesike, S., Flath, C. M., und Thiesse, F. (2015). Patterns of Remixes or Where Do Innovations Come From: Evidence From 3D Printing. In *Proceedings of the 23rd European Conference on Information Systems (ECIS)*, Münster, Deutschland.
- Flath, C. M., Friesike, S., und Wirth, M. (2015). Successfully Remixing Innovations: Evidence From 3D Printing. In *Proceedings of the 15th European Academy of Management Conference (EURAM)*, Warschau, Polen.
- Thiesse, F., Wirth, M., Kemper, H.-G., Moisa, M., Morar, D., Lasi, H., Piller, F., Buxmann, P., Mortara, L., Ford, S., und Minshall, T. (2015). Economic Implications of Additive Manufacturing and the Contribution of MIS. *Business & Information Systems Engineering*, 57(2):139–148.
- Wirth, M. und Thiesse, F. (2014). Shapeways and the 3D Printing Revolution. In *Proceedings of the 22nd European Conference on Information Systems (ECIS)*, Tel Aviv, Israel.

