

## 3Dprint-Supply-Service

Integriertes Konzept für Logistikdienstleister  
zur dezentralen Ersatzteilversorgung unter  
Einbezug der additiven Fertigung

Hrsg.: Günther Schuh, Volker Stich





# 3Dsupply

3Dprint-Supply-Service (3Dsupply)

Integriertes Konzept für Logistikdienstleister zur dezentralen Ersatzteilversorgung unter Einbezug der additiven Fertigung

Herausgegeben von  
Günther Schuh, Volker Stich



**Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh,  
Direktor des FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Prof. Dr.-Ing. Volker Stich, Geschäftsführer des  
FIR e. V. an der RWTH Aachen

**Autoren:**

Svenja Marek, Daniel Pause  
(FIR e. V. an der RWTH Aachen)

Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz  
(TOP Mehrwert-Logistik GmbH & Co. KG)

Olaf Steinmeier, Yannick Löw,  
Ruben Meuth, Juan Miguel Diaz del Castillo  
(Fraunhofer-Einrichtung für Additive  
Produktionstechnologien IAPT)

Lars Schott (CompriseTec GmbH)

Christian Sander, Raphael Hofstädter, Florian  
Hennecke (ALSTOM Transport Deutschland  
GmbH)

© 2020, FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Campus-Boulevard 55  
52074 Aachen  
Telefon: +49 241 47705-0  
E-Mail: info@fir.rwth-aachen.de  
Internet: www.fir.rwth-aachen.de

Alle Rechte vorbehalten.

**Bibliographische Information der  
Deutschen Bibliothek:**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese  
Publikation in der Deutschen National-  
bibliographie; detaillierte bibliographische Da-  
ten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de>  
abrufbar.

**3Dprint-Supply Service (3DSupply) –  
Integriertes Konzept für Logistikdienstleister  
zur dezentralen Ersatzteilversorgung unter  
Einbezug der additiven Fertigung**

FIR-Edition Forschung, Band 26  
ISBN: 978-3-943024-38-8

**Korrektorat:**

Simone Suchan M.A.

**Layout und Satz:**

Julia Quack van Wersch, M.A.

**Bildnachweise:**

Titelfoto: © jean song – stock.adobe.com  
Grafiken: © siehe Abbildungen

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02K16C162 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



BETREUT VOM



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**  
Karlsruher Institut für Technologie



# INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	VII
GENDER-ERKLÄRUNG.....	VII
<b>A. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
A.1 Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
A.2 Zielsetzung und Forschungsfrage .....	4
A.3 Stand der Forschung und Ableitung des Forschungsbedarfs .....	7
A.4 Vorgehensweise des Projekts ‚3Dsupply‘ .....	10
A.5 Projektkonsortium .....	14
A.6 Struktur und Inhalt des Buchs .....	17
<b>B. ANFORDERUNGSERHEBUNG .....</b>	<b>19</b>
B.1 Abgrenzung des Betrachtungsbereichs .....	19
B.2 Prozessanalyse .....	20
B.2.1 Ist-Analyse des Bedarfsszenarios bei Alstom .....	20
B.2.2 Ist-Analyse des Bedarfsszenarios bei TOP .....	26
B.3 Definition der Anforderungen .....	30
B.4 Erfolgsaussichten des Forschungsprojekts.....	35
<b>C. 3DPRINT-KNOWLEDGE-BASE.....</b>	<b>37</b>
C.1 Bewertung des additiven Potenzials von Ersatzteilen.....	38
C.2 Bewertungskonzept für 3D-Druck-Produzenten.....	43
C.3 Qualitätssicherungskonzept .....	48
<b>D. MODELLIERUNG EINER DEZENTRALEN VERSORGUNGSSTRUKTUR .....</b>	<b>53</b>
D.1 Rollenbeschreibung der involvierten Szenario-Akteure .....	53
D.1.1 Kunde.....	54
D.1.2 Digitaler Distributor .....	54
D.1.3 AM-Entscheider.....	55
D.1.4 Verantwortlicher für die Produzentenauswahl .....	56
D.1.5 AM-Dienstleister.....	56
D.1.6 Transporteur.....	57
D.2 Logistische Supply-Chain-Szenarien für den Logistikdienstleister.....	57
D.2.1 Szenario 0: LDL als Transporteur.....	57
D.2.2 Szenario 1: LDL als digitaler Distributor .....	58
D.2.3 Szenario 2: LDL als AM-Entscheider .....	59

D.2.4	Szenario 3: LDL als Verantwortlicher für die Produzentenauswahl .....	60
D.2.5	Szenario 4: LDL als AM-Dienstleister .....	61
D.2.6	Szenario 5: LDL als Bestandsmanager .....	62
<b>E.</b>	<b>ENTWICKLUNG DER SOFTWARELÖSUNG .....</b>	<b>65</b>
E.1	Analyse bestehender Lösungen .....	65
E.2	Anforderungen an die Softwarelösung .....	68
E.2.1	Funktionale Anforderungen .....	68
E.2.2	Nichtfunktionale Anforderungen .....	73
E.3	Aufbau des Datenmodells .....	75
E.3.1	Auswahl einer Datenbankstruktur .....	75
E.3.2	Datenmodell der Benutzeraccounts .....	75
E.3.3	Datenmodell der Bauteilvorauswahl .....	76
E.3.4	Konzeption der Produzentensuche .....	79
E.3.5	Spezifikation der Materialdatenbank .....	82
E.4	Implementierung .....	83
E.4.1	Auswahl geeigneter Technologien .....	83
E.4.2	Aufbau der Benutzeroberfläche .....	84
E.4.3	Umsetzung der Funktionalitäten .....	85
<b>F.</b>	<b>QUANTIFIZIERUNG VON BUSINESS-CASES .....</b>	<b>95</b>
F.1	Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellen .....	95
F.1.1	Entscheidungskriterien zur Auswahl einer Geschäftsmodellentwicklungsmethode .....	95
F.1.2	Auswahl Geschäftsmodellentwicklungsmethode .....	96
F.1.3	Business-Modell-Canvas und Value-Proposition-Canvas .....	98
F.1.4	Anwendung Business-Modell-Canvas und Value-Proposition-Canvas .....	102
F.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	111
F.2.1	Marktpotenzial .....	112
F.2.2	Einnahmen .....	119
F.2.3	Kosten .....	121
F.2.4	Gewinnschwelle .....	124
F.3	Change-Management zur Geschäftsmodelltransformation .....	127
<b>G.</b>	<b>ERPROBUNG UND VALIDIERUNG .....</b>	<b>139</b>
G.1	Usability-Tests der entwickelten Softwarelösung .....	139
G.2	Usecase-Definition .....	144
G.3	Durchführung des Probetriebs .....	153
<b>H.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>165</b>
<b>I.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>171</b>



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Bild 1:	Fuel-Connector (doppelwandige Kraftstoffleitung) für <i>Airbus</i> .....	2
Bild 2:	Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens .....	5
Bild 3:	Untersuchungen aus der Literatur zum Thema „Potenziale der additiven Fertigung (AM) im Kontext der Ersatzteilversorgung“ .....	7
Bild 4:	Untersuchungen aus der Literatur zum Thema „Potenziale der additiven Fertigung (AM) im Kontext der Ersatzteilversorgung“ .....	9
Bild 5:	Die Kapitelstruktur der vorliegenden Forschungsarbeit basiert auf der Vorgehensweise im Projekt ‚3Dsupply‘ .....	17
Bild 6:	Priorisierung der Bauteile nach dem Schema A, B, C und D .....	20
Bild 7:	Einfacher Halter für ein USB-Netzteil .....	21
Bild 8:	Ablaufdiagramm des Prozesses zum Erstellen von Angeboten im Ersatzteilvertrieb .....	22
Bild 9:	Einordnungsschema zur ersten Bauteilbeurteilung, durchgeführt von verschiedenen Personen .....	24
Bild 10:	Gegenüberstellung Bauteil vorher und Bauteil nach dem Re-Design für die additive Fertigung; in der Mitte der herausnehmbare Filtereinsatz vom neu entwickelten Bauteil .....	26
Bild 11:	Exemplarischer Auszug der Prozesslandkarte am Beispiel eines Technikers..	27
Bild 12:	Bauteilanforderungsliste .....	30
Bild 13:	Kompetenzmerkmale inklusive der Zuordnung zu den Hauptkriterien.....	33
Bild 14:	Polarprofil zur Veranschaulichung von geforderten Lieferantenprofilen für einzelne Auftragsszenarien (eigene Darstellung).....	34
Bild 15:	Verfahren der additiven Fertigung.....	37
Bild 16:	Kriterien der Bauteilbewertung .....	39
Bild 17:	Kriterien des technischen Potenzials.....	40
Bild 18:	Kriterien des wirtschaftlichen Potenzials .....	41
Bild 19:	Beispielhafte Auswertung des additiven Potenzials eines Bauteils und Vergleich mit weiteren Bauteilen.....	43
Bild 20:	AM-Prozesskette nach DIN SPEC 17071.....	45
Bild 21:	Bewertungskriterien Qualität, Zeit, Kosten und Effizienz .....	47
Bild 22:	Fehlerarten, Bewertung (gemittelt) und Risikoprioritätszahlen.....	48
Bild 23:	Probe mit Gasporen und Anbindungsfehlern.....	49
Bild 24:	Prozessaufnahme einer zylindrischen Probe .....	50
Bild 25:	TED-Metrik und metallographische Analyse eines Probekörpers .....	51
Bild 26:	TEP-Wert als Indikator für Verunreinigungen im Pulverbett .....	51
Bild 27:	Probengeometrie und QS-Schichtaufnahme des Prozesses .....	52
Bild 28:	QS-Aufnahme und $\mu$ CT-Analyse der Probengeometrie.....	52
Bild 29:	Grundlegende Wertschöpfungskette für additiv hergestellte Ersatzteile.....	54
Bild 30:	Szenario 0: LDL als Transporteur .....	58

Bild 31:	Szenario 1: LDL als digitaler Distributor .....	58
Bild 32:	Szenario 2: LDL als AM-Entscheider .....	59
Bild 33:	Szenario 3: LDL als Verantwortlicher für die Produzentenauswahl .....	61
Bild 34:	Szenario 4: LDL als AM-Dienstleister .....	61
Bild 35:	Szenario 5: LDL als Bestandsmanager .....	63
Bild 36:	Bewertung der Softwarelösungen .....	67
Bild 37:	Zu erfassende Aspekte für die Bauteilvorauswahl.....	69
Bild 38:	Notwendige Angaben für die Materialauswahl .....	73
Bild 39:	Unterteilung der erfassten Werte nach Eingabetyp .....	78
Bild 40:	Abzugleichende Aspekte bei der Produzentensuche .....	79
Bild 41:	Zuordnung der herstellbaren Materialien zu Produzenten .....	80
Bild 42:	Datenmodell zur Erfassung der Produzentenfähigkeiten .....	81
Bild 43:	Datenstruktur zur Erfassung der Materialeigenschaften .....	82
Bild 44:	Bereiche der Benutzeroberfläche .....	85
Bild 45:	Anmeldemaske der Softwarelösung .....	86
Bild 46:	Eingabemaske zur Erstellung neuer Benutzer-Accounts.....	87
Bild 47:	Eingabemaske zur Erfassung der technischen Bauteildaten.....	88
Bild 48:	Beispielhafte Hilfestellung bei der Erfassung der Bauteildaten.....	89
Bild 49:	Darstellung der Score-Werte in Diagrammform.....	89
Bild 50:	Detaillierte Aufschlüsselung der Bauteilbewertung .....	90
Bild 51:	Filteroptionen innerhalb des Materialauswahldialogs.....	91
Bild 52:	Darstellung der Liste passender Produzenten .....	92
Bild 53:	Administrationsoberfläche der Bauteilvorauswahlkriterien .....	93
Bild 54:	Eingabemaske zur Erfassung der Produzentenfähigkeiten .....	94
Bild 55:	Bewertung der Geschäftsmodellentwicklungsmethoden .....	97
Bild 56:	Business-Model-Canvas .....	98
Bild 57:	Value-Proposition-Canvas im Kontext des Business-Model-Canvas.....	101
Bild 58:	Ergebnisse des VPC-Szenarios 2 .....	102
Bild 59:	Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung Szenario 2 – BMC-Untersuchung... 103	
Bild 60:	Ergebnisse des VPC-Szenarios 3 .....	104
Bild 61:	Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung Szenario 3 – BMC-Untersuchung... 106	
Bild 62:	Ergebnisse des VPC-Szenarios 5 .....	108
Bild 63:	Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung Szenario 5 – BMC-Untersuchung... 109	
Bild 64:	Berechnung der Anzahl zu analysierender Bauteile in der Softwarelösung – Ansatz 1 .....	113
Bild 65:	Berechnung der Anzahl zu analysierender Bauteile in der Softwarelösung – Ansatz 2 .....	114
Bild 66:	Berechnung der Anzahl zu analysierender Bauteile in der Softwarelösung – Fallbeispiel <i>ALSTOM Transport Deutschland GmbH</i> .....	116
Bild 67:	Berechnung (technisch) erfolgreicher Bauteilvermittlungen .....	118

Bild 68:	Berechnung der Anzahl an Produzenten in der Softwarelösung.....	119
Bild 69:	Einnahmen aus Bauteilbewertung.....	119
Bild 70:	Einnahmen aus Produzenten-Matching (Bauteilnachfrager) .....	120
Bild 71:	Einnahmen aus Produzenten-Matching (Produzent): Provision .....	120
Bild 72:	Einnahmen aus Produzenten-Matching (Produzent): Jahresbeitrag.....	121
Bild 73:	Summe der Einnahmen aus Produzenten-Matching und Beiträgen.....	121
Bild 74:	Kostenstruktur Szenario 2: Globaler AM-Rechenansatz .....	123
Bild 75:	Kostenstruktur Szenario 2: Ersatzteile in Deutschland – Rechenansatz .....	124
Bild 76:	Kostenstruktur Szenario 3: Globaler AM-Rechenansatz .....	125
Bild 77:	Kostenstruktur Szenario 3: Ersatzteile in Deutschland – Rechenansatz .....	125
Bild 78:	Gewinnschwelle Szenario 2 .....	126
Bild 79:	Gewinnschwelle Szenario 3 .....	126
Bild 80:	Business-Transformation-Canvas .....	127
Bild 81:	Ansicht des Detailprozesses Bauteilbewertung (1).....	129
Bild 82:	Ansicht des Detailprozesses Produzenten-Matching (2).....	131
Bild 83:	Stellenprofil Customer-Service-Agent .....	133
Bild 84:	Stellenprofil AM-Engineer .....	135
Bild 85:	Stellenprofil AM-Service-Solution-Architect.....	137
Bild 86:	Usability-Test Produzentenansicht (exemplarischer Auszug).....	140
Bild 87:	Ergebnisse des Usability-Tests <i>FIR</i> .....	142
Bild 88:	Ergebnisse des Usability-Test <i>TOP Mehrwert-Logistik</i> .....	143
Bild 89:	Vereinfachter Sollprozess Probebetrieb .....	146
Bild 90:	Ergebnisse der Bauteilbewertung anhand historischer Daten .....	147
Bild 91:	Ergebnisdarstellung der Auswahl eines geeigneten Produzenten für ein Bauteil .....	148
Bild 92:	Auszug des paarweisen Bauteilvergleichs hinsichtlich des technischen Potenzials .....	149
Bild 93:	Bewertung des technischen Potenzials durch das SW-Tool und die 3D-Druck-Experten .....	150
Bild 94:	Differenzen der Bewertungen des wirtschaftlichen Potenzials der Softwarelösung gegenüber den 3D-Druck-Experten .....	151
Bild 95:	Tabellarisches Bewertungsschema des Probebetriebs .....	152
Bild 96:	Anzahl der Aufrufe bei der Eingabe der Bauteildaten der zweiten Bauteilgruppe .....	153
Bild 97:	Datenvollständigkeit der Bauteile .....	154
Bild 98:	Aufwandstabelle zur Klassifizierung von Bauteilen hinsichtlich ihrer Datenvollständigkeit .....	156
Bild 99:	Geschulte vs. ungeschulte Bewertung des technischen Potenzials der zweiten Bauteilgruppe.....	158

Bild 100:	Differenz der Bewertung des technischen Potenzials und Anzahl der Eingabefehler der zweiten Bauteilgruppe .....	158
Bild 101:	Geschulte vs. ungeschulte Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials der zweiten Bauteilgruppe .....	159
Bild 102:	Differenz der Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials und Anzahl der Eingabefehler der zweiten Bauteilgruppe .....	160
Bild 103:	Vergleich der konventionellen und additiven Fertigungskosten für die gedruckten Bauteile .....	161
Bild 104:	Vergleich Sandauslass und Handgriff.....	162
Bild 105:	Tabellarische Aufstellung der Zeit für das Redesign, der minimalen Durchlaufzeit, der Lieferzeit sowie der Gesamtzeit .....	163
Bild 106:	Anteil der positiven und negativen Produzentenmatches für die Bauteilgruppen 2 und 3 .....	164
Bild 107:	Qualitätssicherung durch Prozess-Monitoring des AM-Baujobs (links), Bruchflächenanalyse von Fertigungsbegleitproben (Mitte) und Prüfung mechanischer Kennwerte (rechts) .....	164

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AM	Additive Manufacturing
BMC	Business-Model-Canvas
BMN	Business-Model-Navigator
BPMN	Business-Process-Model and -Notation
IDL	Informationsdienstleister
IP-Rechte	Intellectual-Property-Rights
LDL	Logistikdienstleister
LSP	Logistic-Service-Provider
OEM	Original-Equipment-Manufacturer
QCD	Quality, Cost, Delivery
TCO	Total Cost of Ownership
TED	Thermal-Emission-Density
TEP	Thermal-Emission-Plank
VPC	Value-Proposition-Canvas
WAAM	Welding-Arc-Additive-Manufacturing

## GENDER-ERKLÄRUNG

In der vorliegenden Edition Forschung haben wir uns entschieden, zur Vereinfachung und wegen der besseren Lesbarkeit eine generische Form, die des generischen Maskulinums, zu verwenden. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass die Verwendung dieser Form geschlechterunabhängig gilt und verstanden werden soll.



## A EINLEITUNG

Die Inhalte der vorliegenden Schrift wurden im Rahmen des Forschungsprojekts ‚3Dsupply‘ erarbeitet; die Projektergebnisse sind hier in gebundener Form zusammengefasst. Das Forschungsprojekt ‚3Dsupply‘ wurde im Zeitraum 2017 bis 2020 vom *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)* im Rahmen des Programms „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 02K16C162) gefördert und vom *Projekträger Karlsruhe (PTKA)* begleitet.

### A.1 Ausgangssituation und Problemstellung

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Versorgungsstrukturen von Ersatzteilen in Wertschöpfungsnetzwerken sind maßgeblich durch das Spannungsfeld zwischen Kapitalbindung und Verfügbarkeit gekennzeichnet. Die durchschnittliche Kapitalbindung durch Ersatzteile im Maschinen- und Anlagenbau beträgt rund zehn Prozent des installierten Anlagenwertes (s. BIEDERMANN 2008, S. 5). Dennoch beläuft sich die Verfügbarkeit für A-Teile durchschnittlich auf nur 77 Prozent (s. SCHUH ET AL. 2013, S. 203). Zudem ist ein deutlicher Trend hin zu geringen Stückzahlen und dafür zu einer höheren Varianz von Ersatzteilen zu erkennen, wodurch erhöhte Produktions- und Lagerkosten verursacht werden. Die wachsenden Ansprüche der Kunden im Bereich ‚Wartung und Instandhaltung‘ an eine ständige Verfügbarkeit auch individualisierter Komponenten kann von Seiten der Hersteller zukünftig nicht mehr ausschließlich über konventionelle Produktions-, Lagerungs- und Lieferstrategien erfüllt werden.

Auch wenn eine vollständige Verdrängung der konventionellen Ersatzteilerfertigungs- und Lagerungsstrategien nicht zu erwarten ist, kann doch insbesondere für die Ersatzteilversorgung langlebiger Investitionsgüter großes Potenzial prognostiziert werden. So sind die Produkte im Maschinen- und Anlagenbau häufig durch eine lange Lebensdauer bei gleichzeitig hoher Individualität und Komplexität gekennzeichnet. Gleichzeitig verursachen Ausfälle vielfach hohe Kosten im Gesamtsystem. Hersteller sind somit dazu gezwungen, umfangreiche Ersatzteilbestände zu finanzieren. Ein typisches Schienenfahrzeug von *Alstom* besteht aus etwa 20 000 verschiedenen Teilen. Aufgeteilt auf 10 verschiedene Schienenfahrzeug-Plattformen ergibt sich bei *Alstom* ein Sortiment, das 200 000 unterschiedliche Teile umfasst. Etwa 50 Prozent der Ersatzteilbestellungen sind dabei nicht wiederkehrende Anfragen. *Alstom* beziffert das Einsparpotenzial auf mindestens 100 000 Ersatzteile, wenn nur in 0,1 Prozent der Fälle eine additive On-Demand-Produktion erfolgen kann.

Allerdings ist fast immer ein Re-Design der additiv zu fertigenden Bauteile zu vollziehen. 1:1-Repliken konventioneller Konstruktionen schöpfen die Potenziale von 3D-Druck-Verfahren nicht aus und weisen meist höhere Herstellkosten auf. Doch schon heute belegen Anwendungsfälle wie z. B. der Fuel-Connector für Airbus (s. Bild 1), dass eine Fertigung mit additiven Verfahren nicht nur in der geforderten Qualität und Zeit möglich, sondern auch wirtschaftlich ist. Die veränderte Konstruktion hin zu einem Integralbauteil kann z. B. den Montageaufwand reduzieren und senkt in diesem Beispiel die Herstellkosten gegenüber der konventionellen Fertigung.

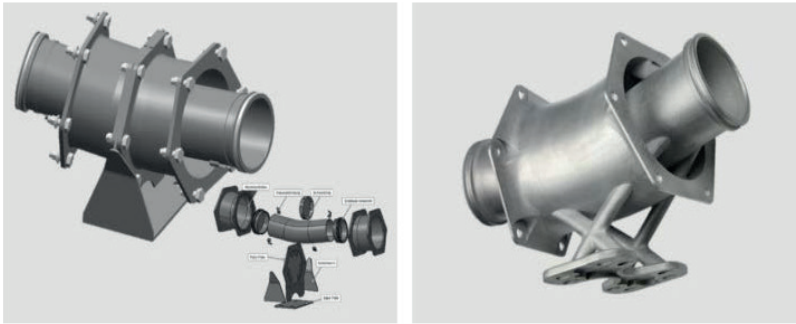


Bild 1: Fuel-Connector (doppelwandige Kraftstoffleitung) für Airbus; links: im konventionellen Design und rechts: im Integraldesign für die laseradditive Fertigung. Mit der 3D-Druck-Technologie reduziert sich in diesem Beispiel die Anzahl der Einzelteile von 14 auf 1, die der Fertigungsschritte von 18 auf 5 und die Fertigungskosten um 50 Prozent. (Quelle: IAPT)

Die Integration additiv gefertigter Bauteile in bestehende Versorgungsstrukturen scheitert bislang jedoch an der vorherrschenden Intransparenz auf mehreren Ebenen. Einerseits besitzen die Nachfrager nur begrenztes Wissen darüber, welche Bauteile mit der additiven Technologie ökonomisch herstellbar sind. Außerdem fehlt den Nachfragern umfassendes Knowhow darüber, das erforderliche Re-Design an den Bauteilen vorzunehmen, die für eine konventionelle Fertigungsmethode ausgelegt sind und als Ersatzteil 3D-gedruckt werden sollen. Daher benötigen die Nachfrager Unterstützung von Experten, die sie in Form einer Dienstleistung beziehen könnten. Auf der anderen Seite erschweren die unterschiedlichen Merkmale additiver Fertigungsverfahren und die unübersichtliche Marktsituation im Bereich der vielen, häufig kleinen 3D-Druck-Produzenten bislang den Zugang zu dieser neuen Technologie. Dies stellt für große Unternehmen z. B. aus der Luftfahrt und dem Schienenfahrzeugbau eine Zugangsbarriere zu potenziellen 3D-Druck-Produzenten dar.



Bei der zu erwartenden fortschreitenden Marktdurchdringung der additiven Fertigungstechnologien können Konsequenzen für die Logistikbranche unmittelbar prognostiziert werden. Die Verlagerung der Produktion hin zum Bedarfsort führt zu einer Senkung von Transportdistanzen (Near-Sourcing) und von Lager-/Puffervorgängen. Der niedrigere Rohmaterialbedarf der neuartigen Verfahren führt zu einem Wegfall von Transportvolumen. Dezentrale Produktion über multiple Produzenten führt zwar zu einem sinkenden Transportbedarf materieller Güter, erfordert allerdings die Gestaltung von effizienten Informationsflüssen zwischen dem Produzenten und dem Nachfrager. In diesem Fall fungiert der beteiligte Logistikdienstleister (LDL) als ein Informationsdienstleister (IDL). Die informationstechnologische und konstruktionsfachliche Konnexion von Ersatzteilnachfragern und geeigneten Ersatzteilproduzenten motiviert die Entwicklung eines neuen Dienstleistungskonzepts für LDL. In diesem wird der LDL zum Übermittler von Wissen und Informationen unter Berücksichtigung der traditionellen logistischen Ziele: Die richtigen Informationen (Produkte) zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität und zu den richtigen Kosten verfügbar machen.

Durch die Integration additiver Fertigungsverfahren in Wertschöpfungsstrukturen wird zukünftig die angedeutete Kunden-Produzenten-Schnittstelle neu definiert (s. DOMBROWSKI u. WINNEFELD 2012, S. 355 – 359). Die Besetzung dieser Schnittstelle hat aus den dargestellten Gründen einen disruptiven Charakter, welcher sich in neuartigen Versorgungsstrukturen in Netzwerken auf der einen und in der Intelligenten Informationssteuerung auf der anderen Seite ausdrückt (s. BMWi 2015, S. 18). Somit stehen LDL vor der Herausforderung, ihr Geschäftsfeld um den zielgerichteten Umgang mit dem Transport von Informationen zu erweitern. Essenzieller Bestandteil ist die Erschließung neuer Geschäftsfelder und Dienstleistungskonzepte, wie z. B. die Vermittlung von 3D-Druck-Optionen in der Wertschöpfungskette.

## A.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Ziel des Verbundprojekts ist die Entwicklung eines integrierten Dienstleistungskonzepts, das den klassischen LDL dazu befähigt, additive Fertigungstechnologien in dessen bestehendes Dienstleistungsspektrum der Ersatzteillogistik zu integrieren.

In bisherigen Strukturen der Ersatzteilversorgung (s. SCHUH ET AL. 2013, S. 167–168) tritt der Kunde gewöhnlich direkt mit einem Produzenten in Kontakt, der gemäß dessen Anforderungen benötigte Bauteile liefert (s. Bild 2, S. 5). Das ist in der Regel entweder der ursprüngliche Lieferant oder ein dritter Akteur, der kompatible Ersatzteile anbietet. Für den Transport wird dann ein LDL beauftragt, welcher die Durchführung des Transports verantwortet. Das in diesem Verbundprojekt zu entwickelnde Dienstleistungskonzept zur Ersatzteilversorgung soll sowohl den Anforderungen der Kunden bezüglich einer sicheren und schnellen Ersatzteilversorgung als auch den bestehenden Rahmenbedingungen des Ersatzteilwesens Rechnung tragen. Als direkter Ansprechpartner für die Ersatzteilmachfrager besetzt der LDL die Kunden-Produzenten-Schnittstelle. Ferner garantiert der LDL die Bereitstellung von Ersatzteilen unter Berücksichtigung von vorgegebenen Zeit-, Kosten- und Qualitätsaspekten.

Die neue Dienstleistung beinhaltet in einem ersten Schritt die Beurteilung der Möglichkeit bzw. Sinnhaftigkeit einer additiven Fertigung und in einem zweiten Schritt die Beauftragung von und die Kommunikation mit geeigneten Produzenten. Je nach Beschaffenheit des Bauteils und den damit verbundenen Vorteilen der verschiedenen Fertigungstechnologien erfolgt die Belieferung des Kunden aus dem Lager des Dienstleisters oder direkt von einem der Produzenten. Weiterhin gibt es die Möglichkeit, dass der Dienstleister das Re-Design extern beauftragt oder selbst durchführt. Das übergeordnete Ziel des Projekts stellt die Entwicklung eines neuen Dienstleistungskonzepts zur Ersatzteilversorgung dar. Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens wird im nachfolgenden Bild 2 (s. S. 5) visualisiert.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts soll daher die Frage beantwortet werden, wie der betrachtete Servicedienstleister eine vermittelnde Instanz zwischen Kunden und Produzenten einnehmen kann. Eine Kompetenzerweiterung des Servicedienstleisters um eine eigene Ersatzteilmachfertigung ist explizit nicht Fokus des Forschungsprojekts, da die Ersatzteilmachfertigung weiterhin von spezialisierten Unternehmen durchgeführt werden soll, und wird daher nur marginal betrachtet. Zur Lösung der Hauptforschungsfrage lassen sich folgende Unterfragen identifizieren:

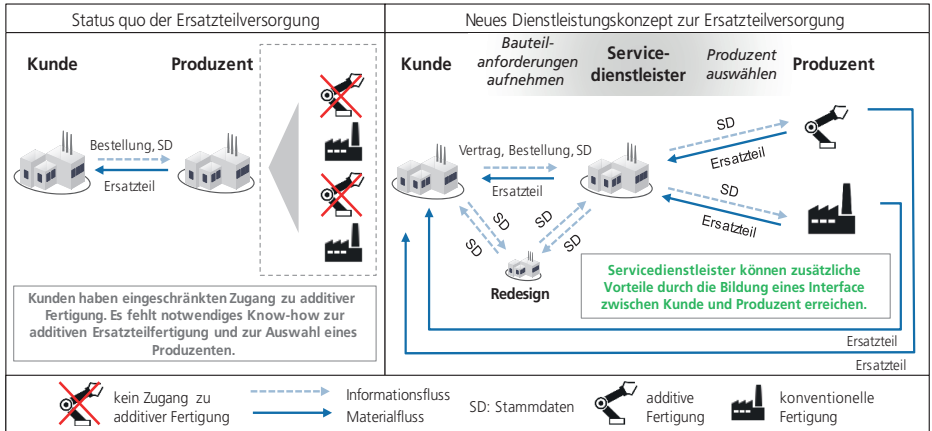


Bild 2: Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens (eigene Darstellung)

1. Was ist für einen LDL die kleinstmögliche Informationsgrundlage, um die Vermittlung von Ersatzteilen vorzunehmen?
2. Wie könnte ein Referenzmodell zur dezentralen Ersatzteilversorgung großer Industrieunternehmen gestaltet werden?
3. Wie lässt sich ein zielgerichtetes Informationsmanagementsystem zur Kommunikation zwischen Kunde, LDL und Produzent gestalten?
4. Wie schafft ein heutiger LDL die Transformation zu einem modernen LDL?

Im Rahmen der **ersten Unterforschungsfrage** wird untersucht, wie man den LDL in die Lage versetzen kann, Bauteilanfragen seitens der Kunden zu bewerten und zu bearbeiten, die Produktionsanforderungen aufzunehmen und die für die Produktion notwendigen Informationen standardisiert zu erfassen. Das Ergebnis dieser Projektphase soll eine hinreichend genaue Informationsgrundlage (sog. Knowledge-Base) sein, die mittels einer Auswahlmethodik und eines Bewertungskatalogs dem LDL eine selbständige Auswahl geeigneter 3D-Druck-Produzenten ermöglicht. Die Knowledge-Base dient im weiteren Projektverlauf zugleich als Grundlage zur Entwicklung eines Klassifizierungs- und Kalkulationstools, das die Beantwortung und Weiterleitung von 3D-Druck-Bauteilanfragen ermöglicht und den LDL in der operativen Auftragsabwicklung unterstützt. Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgt in den Ausführungen von Kapitel B und C.

Die **zweite Unterforschungsfrage** beschäftigt sich mit der Herausforderung, additive Fertigungsverfahren prozessual in die bestehenden Strukturen der Ersatzteilversorgung zu integrieren. Hierbei wird ein Modell für die dezentrale Ersatzteilversorgung von Industrieunternehmen entwickelt. Kernelement dieses Modells ist ein Dienstleistungsunternehmen, das seine Aktivitäten vom Logistikanbieter hin zu einem umfassenden Supply-Service ausweiten möchte. In der vorliegenden Forschungsarbeit soll daher die Erweiterung des Dienstleistungsspektrums eines Logistikdienstleisters skizziert werden. Dabei werden Supply-Chain-Szenarien konzipiert, die die Bestellung, die Fertigung und den Transport von Ersatzteilen berücksichtigen. Die geschilderten Ergebnisse sind in Kapitel B und weiterführend in Kapitel D zusammengefasst.

Mit der **dritten Unterforschungsfrage** liegt der Fokus auf einem zielgerichteten Informationsmanagementsystem für den beteiligten Kunden, den LDL und den Produzenten. Das Informationsmanagementsystem sieht eine informationstechnische Anbindung des LDLs an den Kunden und den Produzenten vor und stellt somit eine effiziente Kommunikation im Supply-Service-Netzwerk sicher. In Kapitel E wird die geschilderte Forschungsfrage en détail behandelt.

Im Rahmen der **vierten Unterforschungsfrage** werden übergeordnete Konzepte für den LDL erarbeitet, die die Entwicklung zu einem modernen LDL unterstützen sollen. Das Ergebnis der Untersuchung ist schließlich die konzeptionelle Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle für den LDL anhand der bewährten Methode des Business-Model-Canvas. Das erarbeitete Gesamtkonzept soll schließlich im Rahmen der Erprobung und Validierung, geprüft werden. Im Rahmen der Erprobung und Validierung sind mithilfe der Projektbeteiligten *IAPT* und *CompriseTec* reale Versuchsreihen additiver Fertigung geplant. Dadurch soll belegt werden, dass ein Verfahren entwickelt wurde, mit dem ein weitestgehend fachfremder Dienstleister mithilfe der entwickelten Softwarelösung Produktionsoptionen für ein Bauteil bewerten und verwertbar an Produzenten vermitteln kann. Zu diesem Zweck soll testweise eine repräsentative Wertschöpfungskette bestehend aus Produzent, LDL und Kunde simuliert werden. Die Ergebnisse werden in Kapitel F und G zusammengefasst.

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit werden darüber hinaus die im Folgenden aufgelisteten gesamtökonomischen Effekte angestrebt: Zum einen wird die Ersatzteilversorgung für die Anwender durch Nutzung der 3D-Druck-Technologie im Kunststoff- und Metallbereich vereinfacht. Zudem wird ein Dienstleistungskonzept erarbeitet, das kurze Lieferzeiten unterhalb einer Woche auch für komplexe Bauteile ermöglicht. Außerdem wird eine Integrationsmöglichkeit für neue wachsende 3D-Druck-Unternehmen geschaffen.

### A.3 Stand der Forschung und Ableitung des Forschungsbedarfs

Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)

Bei der Betrachtung der Herausforderungen in der Ersatzteillogistik in Bezug auf Lieferzeiten, Lagerkosten und End-of-Life-Verfügbarkeiten scheinen additive Fertigungsverfahren mit den genannten Vorteilen (keine speziellen Werkzeuge benötigt, wirtschaftliche Einzelfertigung, komplexe Geometrien in einem Arbeitsgang zu fertigen etc.) geradezu für diesen Zweck prädestiniert zu sein. In der Literatur wird das Lösungspotenzial daher als hoch eingeschätzt. Im folgenden Bild 3 werden Untersuchungen aus der Literatur aufgezeigt, die sich mit den Potenzialen der additiven Fertigung im Kontext der Ersatzteilversorgung beschäftigen.

Untersuchungen	Betrachtete Aspekte / Lösungsansätze
GHADGE ET AL. (s. GHADGE ET AL. 2018)	GHADGE ET AL. untersuchen die Auswirkungen der Implementierung von AM auf die Supply-Chain und das Bestandsmanagement von Ersatzteilen in der Flugzeugindustrie. Zur Modellierung des Forschungsproblems werden die Supply-Chain-Netzwerkdaten einer großen Fluggesellschaft verwendet. Für die Studie wird eine einfache Lieferkettenstruktur in der Flugzeugindustrie betrachtet, die aus OEMs, First-Tier-Zulieferern, Second-Tier-Zulieferern, MRO-Unternehmen und Verbrauchern als Interessengruppen besteht. Ausgehend von dieser Lieferkettenstruktur werden zwei Supply-Chain-Szenarien vorgestellt, modelliert und verglichen.
BARZ ET AL. (s. BARZ ET AL. 2016)	BARZ ET AL. bewerten den Einfluss von AM auf die Struktur von Supply-Chains, indem untersucht wird, inwieweit AM eine zweistufige Supply-Chain, bestehend aus Lieferanten, Produzenten und Kunden, beeinflussen kann. BARZ ET AL. fokussieren primär das Standortproblem der Anlagen.

<p>KHAJAVI ET AL. (S. KHAJAVI ET AL. 2014)</p>	<p>KHAJAVI ET AL. untersuchen im Rahmen von Fallstudien die Kostenbestandteile bei einer Ersatzteilversorgung durch generative Fertigungsverfahren. Sie kommen zu dem Schluss, dass Maschinenanschaffungskosten, Personalaufwand und Produktionsgeschwindigkeit die größten Umsetzungshürden darstellen. Demgegenüber sehen die Autoren Vorteile in den Punkten Produktionskosten, Verfügbarkeit, Kapazitätssituation, Robustheit der Supply-Chain, Lagerhaltungsaufwand und Nachhaltigkeit.</p>
<p>LIU ET AL. (S. LIU ET AL. 2014)</p>	<p>LIU ET AL. untersuchen die Ersatzteilversorgung in der Luftfahrtindustrie auf Basis des SCOR-Referenzmodells. Sie betrachten drei verschiedene Szenarien für die Konfiguration der Supply-Chains und sehen eine Notwendigkeit der Kooperation von Teilehersteller und Instandhaltungsunternehmen, um die Potenziale generativer Fertigungsverfahren ausschöpfen zu können.</p>

Bild 3: Untersuchungen aus der Literatur zum Thema „Potenziale der additiven Fertigung (AM) im Kontext der Ersatzteilversorgung“

Aus den geschilderten Untersuchungen und Lösungsansätzen aus der Literatur lässt sich schlussfolgern, dass sich Untersuchungen der Ersatzteilversorgung im Kontext der additiven Fertigung bislang auf spezielle Untersuchungsbereiche beschränken und einen hohen Koordinationsaufwand zwischen allen Beteiligten der Wertschöpfungskette erfordern.

Neben den dargestellten Untersuchungen aus der Literatur haben sich auch zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit den Potenzialen der additiven Fertigung im Rahmen der Ersatzteilversorgung befasst. Im folgenden Bild 4 (s. S. 9) erfolgt eine Abgrenzung des vorliegenden Vorhabens zu bereits bestehenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Projekte	Betrachtete Aspekte / Lösungsansätze
<p>Add2Log            Laufzeit: 2017 – 2020            Zuwendungsgeber: BMWi</p>	<p>Das Ziel des Projekts ‚Add2Log‘ besteht darin, die Potenziale einer dezentralen, additiven Fertigung und agiler Logistik auf einer Plattform zu vernetzen. Die im Rahmen des Projekts entwickelte unternehmensübergreifende, softwarebasierte Plattform übernimmt die zentralen Koordinationsfunktionen für ein neu entstehendes Wertschöpfungsnetzwerk zwischen Produzenten, Logistikern und Dritten.</p>
<p>SAMPL            Laufzeit: 2016 – 2019            Zuwendungsgeber: BMWi</p>	<p>Das Ziel von ‚SAMPL‘ war die Entwicklung einer Plattform zur Etablierung einer Vertrauenskette („chain of trust“) vom Rechteinhaber bis zum Endkunden im Kontext von AM. Hierbei fand die Blockchain-Technologie für die Bereitstellung von Lizenz- und Urheberinformationen Anwendung. Der Fokus des Forschungsvorhabens lag auf den Herausforderungen im Urheber- und Produkthaftungsrecht, die sich durch AM ergeben.</p>
<p>AM4Industry            Laufzeit: 2017 – 2018            Zuwendungsgeber: BMWi</p>	<p>Das primäre Ziel des Projekts ‚AM4Industry‘ bestand darin, ein Modell zu entwickeln, das die Vorteile der Integration von AM in die Produktionstechnologien eines Unternehmens aufzeigt. Hierzu wurden sowohl die resultierenden Kosten als auch der durch die Produktion mit AM generierte Nutzen identifiziert.</p>
<p>3D@KMU            Laufzeit: 2015 – 2017            Zuwendungsgeber: BMBF</p>	<p>Der Fokus von ‚3D@KMU‘ lag darauf, die Einsatzpotenziale und die Auswirkungen von AM auf die Geschäftsprozesse und -modelle bei KMU zu betrachten. Das Ziel bestand darin, an der Schnittstelle zwischen der AM-Technologie und den Möglichkeiten zum Einsatz von AM bei KMU zu forschen.</p>

<p>MAC4U          Laufzeit: 2012 – 2014          Zuwendungsgeber: BMWi</p>	<p>Ziel von ‚MAC4U‘ war es, produzierende KMU aus dem Bereich AM in die Wertschöpfungskette von Massenprodukten einzubinden. Im Rahmen eines Fallbeispiels aus der Automobilindustrie wurden Standards zur Angebotsbeschreibung, zur Konfiguration und zur Abwicklung von individualisierten Produkten entwickelt.</p>
--	--

*Bild 4: Untersuchungen aus der Literatur zum Thema „Potenziale der additiven Fertigung (AM) im Kontext der Ersatzteilversorgung“*

Bisherige Forschungs- und Entwicklungsprojekte fokussieren vorwiegend die Entwicklung von Plattformlösungen und eine Anbindung von meist produzierenden Unternehmen an diese Plattform, um diese zur Anwendung der additiven Fertigung zu befähigen. Keines der betrachteten Forschungsprojekte entwickelt vollumfänglich Grundlagen, die insbesondere den LDL befähigen am Additive-Manufacturing(AM)-Wertschöpfungsnetzwerk zu partizipieren. Daraus resultiert ein Forschungsbedarf, der die Grundlage dieses Projekts darstellt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Anwendung additiver Fertigungsverfahren in der Ersatzteillogistik großes Potenzial zugesprochen wird. Zur Integration dieser Technologie in die bestehenden Wertschöpfungsketten sind jedoch die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen. Die Produzentenseite ist geprägt von kleinen und mittleren Spezialisten für die verschiedenen Fertigungsverfahren. Nachfrager von Ersatzteilen verfügen dahingegen noch nicht über die Wissensbasis für eine geordnete Auswahl und Beauftragung der jeweils geeigneten Produktionsspezialisten und haben daher eher Bedarf an Unternehmen, die als Generalisten die Konstruktion, Produktion und Qualitätssicherung unterstützen können. Vor diesem Hintergrund besteht ein Forschungsbedarf an der Schnittstelle zwischen der Fertigungstechnologie und Ersatzteillogistik. Es müssen Referenzmodelle geschaffen werden, die den wirtschaftlichen Einsatz dieser Verfahren in den bestehenden Strukturen ermöglichen.

## **A.4 Vorgehensweise des Projekts ‚3Dsupply‘**

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Die Inhalte der vorliegenden Schrift sind im Rahmen des Forschungsprojekts ‚3Dsupply‘ (Förderkennzeichen 02K16C162) entstanden. Die Arbeit am Forschungsprojekt eine Reihe von Arbeitspaketen umfasst, die nachfolgend skizziert werden.



Im **Arbeitspaket 1 (Anforderungserhebung)** wurden wesentliche Anforderungen an eine dezentrale Produktion von Ersatzteilen unter Anwendung additiver Fertigungsverfahren ermittelt. Dabei wurde die Strategie der traditionellen Fertigung in Verbindung mit herkömmlicher Lagerhaltung für Ersatzteile durch die „On-Demand“-Fertigung mittels additiver Fertigung ersetzt. Durch diese tiefgreifende technologische Neuerung ergaben sich bedeutende wirtschaftliche, aber auch funktionale Vorteile für Produkte und Prozesse, die analysiert und bewertet werden mussten. Auf Basis der Anwenderszenarien insbesondere aus der Schienenfahrzeugbranche erfolgte eine Ist-Analyse der Ersatzteilmontage und -versorgung. Aus diesen Analyseergebnissen wurden die Anforderungen an Bauteile und den Herstellungsprozess bezüglich der Kriterien von Funktionalität, Qualität, Preis, Lieferdauer und Verfügbarkeit abgeleitet, die sich infolge des Strategiewechsels mit additiven Fertigungsverfahren einstellen.

In Arbeitspaket 2 (Aufbau und Konzeption einer 3Dprint-Knowledge-Base) wurde die Informationsgrundlage zur Unterstützung eines Dienstleistungsangebots durch den LDL für eine „On-Demand“- Ersatzteilversorgung erarbeitet. Zur horizontalen Integration des LDLs in die Produktionsprozesse war eine Wissensübertragung seitens der Kunden und Produktionsexperten erforderlich. Der LDL wurde durch Entwicklung eines Kriterienkatalogs bei der Bewertung von eingehenden Produktionsanfragen einerseits und der Auswahl geeigneter externer Produktionskapazitäten andererseits in die Lage versetzt, gezielt Produktions- und Prozessinformationen bei den Produzenten anzufordern, um den Kunden eine hinreichende Basis für eine Bewertung des Bauteils zu liefern. Aus den Bauteilanforderungen der Kunden wird unter Einfluss möglicher konstruktiver Änderungen eine Methode zur Bewertung der fertigungstechnischen Machbarkeit entwickelt. Im Falle einer notwendigen Designanpassung erfolgte ein Informationsrückfluss zum Anwender, sodass dort einerseits das Knowhow über additive Fertigung wuchs und andererseits die Anforderungskonformität gewährleistet blieb. Ein wesentliches Element für eine wirtschaftliche Produktion von Ersatzteilen durch additive Fertigungsverfahren ist ein industrietaugliches Anlagenkonzept, welches die Grundlage zur Bewertung der Produzenten bildet, die im Auftrag des Servicedienstleisters zur Ersatzteilmontage qualifiziert werden soll. Mit einem zu entwickelnden Qualitätssicherungskonzept muss die Bauteilqualität gesichert und durch den Servicedienstleister gegenüber dem Kunden nachgewiesen werden.

In **Arbeitspaket 3 (Modellierung einer dezentralen Versorgungsstruktur)** wurde eine Versorgungsstruktur zur dezentralen Ersatzteilmontage und -versorgung konzipiert. Hierfür mussten zunächst potenzielle Netzwerk- bzw. Supply-Chain-Szenarien identifiziert werden. Im Zuge der vom LDL durchgeführten Bauteilbewertung ergaben

sich grundsätzlich zwei verschiedene Fertigungsmodi. Der erste Fertigungsmodus ergab sich aus einer Bauteilbewertung, die eine Ersatzteilversorgung mittels additiver Fertigungsverfahren ausschließt. In diesem Fall waren die gewünschten Bauteile nicht für die additive Fertigung geeignet und mussten auf traditionelle Art und Weise gefertigt und dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Der zweite Fertigungsmodus ergab sich aus der Bauteilbewertung, die eine Fertigung mittels additiver Fertigungsverfahren ermöglicht. Dieser Fertigungsmodus wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ‚3Dsupply‘ fokussiert und zeichnet sich wiederum durch verschiedene Ausprägungen aus.

**Arbeitspaket 4 (Entwicklung der Softwarelösung)** umfasste die Entwicklung einer Softwarelösung zur standardisierten Bewertung der Machbarkeit einer additiven Ersatzteilmontage und zur Produzentenauswahl. Die Softwarelösung bildete die Grundlage für den Informationsaustausch zwischen den Akteuren der Supply-Chain und ermöglichte den Abgleich der kundenspezifischen Anforderungen mit den spezifischen Produktionsmöglichkeiten der Anbieter. Der LDL agiert als Administrator der Softwarelösung und verknüpft damit Lieferanten und Abnehmer auf physischer und informationstechnischer Ebene. Mithilfe des Tools wurde der LDL dazu befähigt, einen Abgleich von Angebot und Nachfrage auf technologischer Ebene durchzuführen. Auf Basis der Ergebnisse des ersten Arbeitspakets mussten im ersten Schritt die Anforderungen des Abnehmers erfasst werden, die zur Bewertung der Machbarkeit einer additiven Bauteilmontage benötigt werden. Produzentenseitig wurde eine stets aktuelle Datenbasis benötigt, auf deren Grundlage die Beurteilung mit dem Tool erfolgte. Schließlich wurde im dritten Schritt das Matching-Verfahren implementiert, bei dem beide Datensätze miteinander verglichen werden. Ein übersichtliches Cockpit der Matching-Ergebnisse für den LDL bildete die Visualisierungsebene der Softwarelösung.

Das **Arbeitspaket 5 (Quantifizierung von Business-Cases)** beinhaltete die Ausarbeitung von tragfähigen Geschäftsmodellen für Kunden, Dienstleister und Produzenten. Ziel des Arbeitspakets war die Ausarbeitung von tragfähigen Geschäftsmodellen für die Vernetzung der beteiligten Akteure sowie die Auftragsfertigung von 3D-Druck-Ersatzteilen. Aufbauend auf der Netzwerkbeschreibung sollte dabei insbesondere der folgende Aspekt beachtet werden: Entwicklung eines integrierten Dienstleistungskonzepts zur Lieferung der hergestellten Teile und Ausarbeitung unterschiedlicher, auf die Bedürfnisse der Partner ausgerichteter Bezahlmodelle. Dazu wurden mit den Projektpartnern Workshops durchgeführt, in denen bewährte Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung angewendet werden (z. B. Business-Model-Canvas).

**Arbeitspaket 6 (Erprobung und Validierung)** zielte auf die Validierung der konzipierten Versorgungsstruktur und der Softwarelösung ab. Das erarbeitete Gesamtkonzept soll schließlich im Rahmen der Erprobung und Validierung geprüft werden. Zu diesem Zweck wurde testweise eine repräsentative Wertschöpfungskette, bestehend aus Produzent, LDL und Kunde, simuliert. Um die verschiedenen Bauteil- und Materialeigenschaften sowie deren Einfluss auf Konstruktionsmöglichkeiten und Qualitätsparameter zu berücksichtigen, wurde zu diesem Zweck eine Vielzahl verschiedener Demonstratoren gefertigt. Als Schlussfolgerung der Qualitätsanalyse erfolgt iterativ eine Optimierung des Klassifizierungs- und Auswahltools und der prozessualen Struktur. Es konnte gezeigt werden, dass die Übertragung standardisierter Produktionsanforderungen, die systematische Produzentenauswahl und die Produktion additiv gefertigter Bauteile über Fremdhersteller mit einem steuernden LDL praktisch umsetzbar sind.

Im **Arbeitspaket 7 (Dissemination)** fand die frühzeitige und breitenwirksame Dissemination der Projektergebnisse bzw. die Sicherstellung der Ergebnisverbreitung statt. Im Rahmen dieses Arbeitspakets sollte der Informationstransfer an relevante Zielgruppen in Wissenschaft und Wirtschaft gewährleistet werden. Konferenzteilnahmen sowie intra- und interdisziplinäre Veröffentlichungen der Konsortial- bzw. Verbundpartner sicherten den Austausch im nationalen sowie internationalen Umfeld. Somit wurde eine frühzeitige und projektbegleitende Verbreitung der Ergebnisse ermöglicht. Neben den wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden Fachzeitschriften zur Weitergabe der Ergebnisse genutzt. Die Veröffentlichung der Projektergebnisse wurde durch hauseigene Printmedien der Partner weiter unterstützt (z. B. in der FIR-Zeitschrift „UdZForschung“). Darüber hinaus wurde eine projekteigene Homepage eingerichtet, die ihrerseits über regelmäßig veröffentlichte Projektreports zur Weitergabe von Projektergebnissen beiträgt.

**Arbeitspaket 8 (Projektmanagement)** diente der Steuerung und Vernetzung der Projektbeteiligten, der Überwachung der Projektziele und Sicherstellung der Einhaltung der Dokumentationspflichten gegenüber dem Projektträger. Es umfasste das Management und die Steuerung des Gesamtprojekts. Die Koordination beinhaltete die organisatorische Leitung und Abstimmung der einzelnen Projektarbeiten (Einzelaufgaben und Arbeitspakete). Hierunter fielen die Organisation von Meetings und die Verteilung gemeinsam benötigter Informationen genauso wie die Koordination der Arbeitsinhalte. Die Ergebnisse wurden während des gesamten Projektverlaufs kontinuierlich zusammengeführt, dokumentiert und zwischen den Projektpartnern wie auch zum Fördermittelgeber transferiert. Das Projektcontrolling umfasst die Budgetplanung und -überwachung sowie die Koordination des Projektkonsortiums.

## A.5 Projektkonsortium

Das Forschungsprojekt ‚3Dsupply‘ (Förderkennzeichen 02K16C162) ist das Ergebnis der Kooperation des FIR mit einer Reihe von Partnern aus Industrie und Forschung. Nachfolgend werden die einzelnen Partner des Projektkonsortiums vorgestellt, die zugleich die Co-Autoren der vorliegenden Schrift darstellen.

### **TOP Mehrwert-Logistik GmbH & Co. KG**

TOP beteiligt sich seit vielen Jahren als Partner oder Mitglied in projektbegleitenden Ausschüssen in zahlreichen Forschungsvorhaben, mit dem Ziel, die Effizienz von Logistiksystemen zu steigern und die Vernetzung von Produktion, Logistik und Verbrauchern stetig zu verbessern. So wurden zuletzt im Projekt MSCO (*Maintenance Supply Chain Optimisation*, PT: BMWi, 2007 – 2010) die Voraussetzungen für eine neuartige logistische Dienstleistungsplattform geschaffen, bei der ein Logistikdienstleister auf Basis einer IT-Plattform das komplette Ersatzteilmanagement und fortan die Gestaltung der gesamten Transportkette des Kunden übernimmt. Von 2013 – 2015 wurden im Rahmen des Vorhabens SLG (Smart-Logistic-Grids) ein Supply-Chain-Operations-Room und eine Event-Cloud geschaffen, die ein Risikomanagement in logistischen Netzwerken durch die proaktive Maßnahmeneinleitung bei auftretenden Störungen effektiv unterstützen.

### **Fraunhofer IAPT**

Die *Fraunhofer-Gesellschaft* ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Das *Fraunhofer IAPT* hat sich aus der *LZN Laser Zentrum Nord GmbH* und Teilen des *Instituts für Laser- und Anlagensystemtechnik der Technischen Universität Hamburg* als eine der weltweit führenden Einrichtungen im wissenschaftlich-industriellen Technologietransfer im 3D-Druck gegründet, und ist in Forschung und Entwicklung der additiven Produktionstechnologien mit den Schwerpunkten Design, Prozess und Fabrik in Hamburg tätig. Zusammen mit den Projektpartnern *Airbus* und *Concept Laser* wurde das *LZN* 2014 als Finalist um den „Innovationspreis der deutschen Wirtschaft“ für das erste 3D-gedruckte Flugzeugbauteil aus Metall ausgezeichnet, das an Bord des *Airbus A350 XWB* zum Einsatz kommt. Darüber hinaus stand das *LZN* ebenfalls mit denselben Partnern im Finale um den „Deutschen Zukunftspreis 2015“ für die Entwicklung und Verbreitung der neuen Technologie in der Luftfahrtindustrie. Weitere wichtige Forschungsfelder des *Fraunhofer IAPT* für die additive Fertigung befinden sich im Bereich der Medizintechnik, im Maschinen- und Werkzeugbau sowie in der Automobilindustrie.

Als konkrete Entwicklungsbeispiele sind Hüftimplantate (‘TiBone‘, EFRE 2010-11), funktionsoptimierte Spritzgusswerkzeuge mit oberflächennahen Kühlkanälen (‘Inside‘, AiF 2012 – 2014) oder das Spaceframe-Konzept mit 3D-gedruckten Knotenelementen für einen Fahrzeug-Leichtbaurahmen zu nennen. (s. OHLSEN ET AL. 2015, S. 34 – 39)

### **FIR e. V. an der RWTH Aachen**

Das FIR beschäftigt sich mit dem Zusammenspiel technologischer und organisatorischer Veränderungen sowie neuen Geschäftsmodellen in produzierenden Unternehmen. Die Erfahrungen und Ergebnisse aus vergangenen und laufenden Verbundprojekten werden das Vorhaben unterstützen: Das Projekt ‚Green-Net‘ beispielsweise diente der Gestaltung und Bewertung von Logistikkonzepten in Unternehmensnetzwerken (BMWi, 2012 – 2013). Mit ‚TecPro‘ (BMBF, 2006 – 2010) wurde das Ziel verfolgt eine Datenschnittstelle zu definieren, die deutsche Werkzeug-/Formenbauunternehmen und Maschinenhersteller im internationalen Wettbewerb unterstützen. Im Projekt ‚ET-Versorgung‘ (AiF, 2003 –2005) wurde ein Entscheidungsmodell zur Auswahl und Anwendung lebenszykluspezifischer Bevorratungsstrategien für die Ersatzteilversorgung im Maschinen- und Anlagenbau entwickelt.

### **CompriseTec GmbH**

CompriseTec entwickelt, konstruiert, berechnet und realisiert als mittelständisches Unternehmen in Hamburg mit ca. 20 Mitarbeitern Vorhaben im Polymer- und Verbundwerkstoff-Bereich. Der ganzheitlich verfolgte Ansatz ermöglicht die Mitarbeit an Forschungsprojekten bis hin zur Betreuung von Großserienproduktionen im industriellen Maßstab. Im eigenen Kunststofftechnikum in Hamburg wird eine große Bandbreite moderner Fertigungstechnologien für die Produktion und Entwicklung abgebildet. Insbesondere ist CompriseTec in der Lage, Strategien zur Entwicklung von lastpfad- und materialgerechten Bauteilen sowie Know-how zu verschiedenen additiven Kunststoff-Verfahren bereitzustellen.

Als beispielhaftes Projekt im Bereich der Material- und Prozessentwicklung kann das Vorhaben ‚SpacePrinter‘ dienen: Es wird ein FDM-3D-Drucker durch zwei korrespondierende Industrieroboter gebildet. Gleichzeitig werden endlosfaserverstärkte Thermoplastfilamente entwickelt, deren Eigenschaften an die individuellen Anforderungen der Automobilindustrie (z. B. Steifigkeit) und der Luftfahrt (z. B. Brandschutz) angepasst sind. Somit lassen sich schließlich höher belastbare, in allen drei Raumrichtungen orientierte Faserverbunde per 3D-Druck realisieren. Der Druckbereich ist durch die Verwendung von Industrierobotern skalierbar und kann somit auch auf einen Bereich oberhalb von 1m x 1m x 1m erweitert

werden. Somit ist er auch für die Herstellung von großflächigen Bauteilen, z. B. für den Bahn-Innenbereich, attraktiv.

### **Alstom Transport Deutschland GmbH**

Alstom ist weltweit führend auf dem Weg zu einer umweltfreundlicheren und intelligenteren Mobilität und entwickelt und vermarktet integrierte Systeme, die die nachhaltige Grundlage für die Zukunft des Verkehrs bilden. Alstom bietet eine komplette Palette von Ausrüstungen und Dienstleistungen an, von Hochgeschwindigkeitszügen, U-Bahnen, Straßenbahnen und E-Bussen bis hin zu integrierten Systemen, kundenspezifischen Dienstleistungen, Infrastruktur, Signaltechnik und digitalen Mobilitätslösungen. Alstom verzeichnete im Geschäftsjahr 2019/20 einen Umsatz von 8,2 Milliarden Euro und verbuchte Aufträge in Höhe von 9,9 Milliarden Euro. Alstom hat seinen Hauptsitz in Frankreich, ist in über 60 Ländern vertreten und beschäftigt derzeit 38.900 Mitarbeiter.

Der Alstom-Konzern erkannte das Potenzial der additiven Fertigungstechnologie und startete etwa ein Jahr vor ‚3Dsupply‘ ein Vorprojekt. Ziele des internen Projekts ‚3D4Spares‘ waren die Analyse der bestehenden Technologie, das Aufzeigen von Potenzial und das Umsetzen erster Demonstratoren.

Als Ergebnis für Rapid Prototyping wurde ein Modell eines Drehgestells erfolgreich additiv gefertigt. Als vorläufiges Ergebnis konnte damit gezeigt werden, dass Rapid Manufacturing von kleinen und mittelgroßen Bauteilen aus verschiedenen Kunststoffen bereits wirtschaftlich möglich ist. Daraus ergab sich aber auch, dass zur korrekten und sinnvollen Identifizierung ein Auswahl- oder Bewertungsschema von Bauteilen als Entscheidungsgrundlage hilfreich wäre. Es hat sich auch gezeigt, dass die ersten Versuche Bauteile aus metallischen Werkstoffen (Stahl und Aluminium) additiv zu fertigen, nicht (sofort) erfolgreich waren und daher nicht weiterverfolgt wurden. Es ist zwar möglich, aber für Schienenfahrzeuge vergleichsweise teuer und die am häufigsten verwendeten Werkstoffe sind additiv nicht verfügbar. Im Projekt ‚3D4Spares‘ konnte jedoch klar aufgezeigt werden welches Potenzial grundsätzlich in der additiven Fertigung steckt, allerdings auch verbunden mit der Erkenntnis, dass insbesondere der Weg zu gedruckten metallischen Bauteilen noch länger ist. Um ungünstige Materialpaarungen im späteren Einsatzbereich zu vermeiden, muss die Palette der additiv fertigmöglichen metallischen Werkstoffe daher erweitert werden.

Das Vorprojekt zeigte, welches Potenzial in der additiven Fertigung steckt. Einen Teil des noch zu beschreitenden Weges hin zum additiv gefertigten Ersatzbauteil möchte Alstom mit ‚3Dsupply‘ gehen.

## A.6 Struktur und Inhalt des Buches

In Anlehnung an die dargestellte Zielsetzung des Vorhabens ist das Buch in acht Kapitel unterteilt. Dabei basiert die Kapitelstruktur der vorliegenden Forschungsarbeit auf der Vorgehensweise im Projekt ‚3Dsupply‘. Die Lösungsbausteine bzw. Arbeitspakete des Projekts ‚3Dsupply‘ wurden bereits in Kapitel A.4 beschrieben und sind zudem in Bild 5 aufgeführt.

Kapitelstruktur		Projekt ‚3Dsupply‘	
A	Einleitung	-	-
B	Anforderungs- erhebung	AP1	Anforderungs- erhebung
C	3Dprint-Knowledge-Base	AP2	Aufbau und Konzeption einer 3Dprint Knowledge Base
D	Modellierung einer dezentralen Versorgungsstruktur	AP3	Modellierung einer dezentralen Versorgungsstruktur
E	Entwicklung der Softwarelösung	AP4	Entwicklung der Softwarelösung
F	Quantifizierung von Business-Cases	AP5	Quantifizierung von Business Cases
G	Erprobung und Validierung	AP6	Erprobung und Validierung an Demonstratoren
H	Zusammenfassung und Ausblick	-	-

Bild 5: Die Kapitelstruktur der vorliegenden Forschungsarbeit basiert auf der Vorgehensweise im Projekt ‚3Dsupply‘

In Kapitel A erfolgt die Darstellung der grundlegenden Motivation für die vorliegende Forschungsarbeit. Dabei wird neben der Erläuterung der Ausgangssituation, der Problemstellung (Kapitel A.1) und der Zielsetzung (Kapitel A.2) auch der aktuelle Stand der Forschung analysiert (Kapitel A.3). Basierend auf der identifizierten Forschungslücke

findet die Beschreibung des Lösungsweges inklusive der Erklärung der wesentlichen Lösungskomponenten statt (Kapitel A.4 und Kapitel A.6). Ferner wird die Expertise der einzelnen Projektbeteiligten dargelegt (Kapitel A.5).

Die Anforderungen an die zu entwickelnde Lösung werden in Kapitel B beschrieben. Nachdem durch eine Abgrenzung des Betrachtungsbereichs die wesentlichen Rahmenbedingungen für die weitere Bearbeitung gesetzt wurden (Kapitel B.1), findet in Kapitel B.2 die eigentliche Analyse der Bedarfsszenarien statt. In Kapitel B.3 werden die identifizierten Anforderungen zusammenfassend dargestellt.

In Kapitel C werden die technischen Grundlagen für die vorliegende Forschungsarbeit beschrieben. Dabei wird in den einzelnen Unterkapiteln auf die Machbarkeitsanalyse für 3D-gedruckte Ersatzteile (Kapitel C.1), das Bewertungskonzept für 3D-Druck-Dienstleister (Kapitel C.2) und die Gestaltung eines geeigneten Qualitätssicherungskonzepts eingegangen (Kapitel C.3).

Aufbauend auf den vorherigen Erkenntnissen findet in Kapitel D die Modellierung einer dezentralen Versorgungsstruktur statt. Dabei wird neben einer detaillierten Rollenbeschreibung der einzelnen Akteure (Kapitel D.1) auch die Definition von logistischen Supply-Chain-Szenarien für den LDL erarbeitet (Kapitel D.2).

In Kapitel E wird die entwickelte Softwarelösung beschrieben. Dabei werden zunächst bestehende Lösungen analysiert (Kapitel E.1) und Anforderungen an die zu entwickelnde Softwarelösung definiert (Kapitel E.2). Aufbauend darauf findet die Entwicklung des Datenmodells (Kapitel E.3) und die Umsetzung in eine geeignete Softwareumgebung statt (Kapitel E.4).

Das Kapitel F zielt auf die Quantifizierung der Business-Cases ab. Hierfür werden im ersten Schritt relevante Geschäftsmodelle entwickelt (Kapitel F.1). Darauf aufbauend findet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kapitel F.2) sowie die Entwicklung eines geeigneten Change-Management-Ansatzes zur Geschäftsmodelltransformation statt (Kapitel F.3).

In Kapitel G erfolgt die Erprobung und Validierung der Forschungsergebnisse. Das Kapitel ist in die Definition von Usecases (Kapitel G.1) und die Planung (Kapitel G.2) sowie Durchführung (Kapitel G.3) des Probetriebs untergliedert.

In Kapitel H findet die abschließende Zusammenfassung der Ergebnisse statt. Ferner wird weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.



## B. ANFORDERUNGSERHEBUNG

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

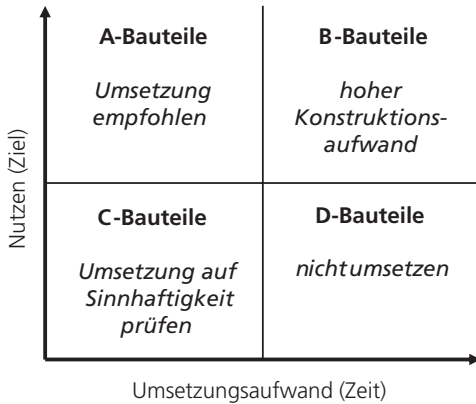
Die Anforderungserhebung stellt eine wichtige Grundlage für die Modellierung einer dezentralen Ersatzteilversorgungsstruktur mit Einbezug der additiven Fertigung dar. Anhand der Aufnahme von technischen Bauteilanforderungen und der Ist-Analyse der Bedarfsszenarien des Ersatzteilnachfragers wie auch des LDLs wird die Basis für die Entwicklung der Softwarelösung geschaffen.

### B.1 Abgrenzung des Betrachtungsbereichs

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

Für eine Analyse der Zweckmäßigkeit der Anwendung additiver Herstellungsverfahren innerhalb einer Versorgungsstruktur von Ersatzteilen ist eine bauteilbezogene Potenzialbewertung erforderlich. Zu diesem Zwecke wurden im Rahmen von sogenannten „Part-Screening-Workshops“ und internen Untersuchungen bei *Alstom Transport Deutschland* knapp 90 für die additive Fertigung interessante Bauteile durch die 3D-Druck-Experten von *Alstom*, *CompriseTec* und dem *Fraunhofer IAPT* identifiziert. Diese Bauteile wurden anschließend zunächst durch die Konsortialpartner *CompriseTec* und *Fraunhofer IAPT* bezüglich ihrer wirtschaftlichen und technischen Potenziale für die additive Fertigung analysiert.

Es wurden 78 der Bauteile nach dem Schema „ABCD“ gemäß Bild 6 (s. S. 20) bewertet. Eine Unterscheidung erfolgt in den Dimensionen „Aufwand“ und „Nutzen“. Dabei bemisst sich der Aufwand in dem Umfang an Zeit und Ressourcen, die potenziell in den gesamten Konstruktions- und Produktionsprozess des additiv gefertigten Bauteils einfließen würden. Der Nutzen hingegen gibt den Grad zur voraussichtlichen Erreichung der individuellen Zielparame-ter bei erfolgreicher Fertigung wieder. Dabei steht „A“ für Bauteile, welche ohne großen Aufwand additiv gefertigt werden können und einen hohen Nutzen für den Anwender haben. „B“-Bauteile verursachen zunächst einen hohen Konstruktionsaufwand. Die Umsetzung würde jedoch auch einen entsprechenden Nutzen mit sich bringen. „C“-Bauteile sind zwar einfach umsetzbar, der Nutzen ist jedoch gering. „D“-Bauteile verursachen einen hohen Aufwand und bringen dabei wenig Nutzen.



Priorisierung der Bauteile:

- 39 (50 %) mit „A“ bewertet
- 7 (9 %) mit „B“ bewertet
- 21 (27 %) mit „C“ bewertet
- 11 (14 %) mit „D“ bewertet

Bild 6: Priorisierung der Bauteile nach dem Schema A, B, C und D

## B.2 Prozessanalyse

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

Im Folgenden werden anhand von Ist-Prozess-Analysen die Ersatzteilmontage und -versorgung am Beispiel des Schienenfahrzeugbaus bei Alstom wie auch die Ersatzteilbereitstellung durch TOP Mehrwert-Logistik beschrieben. Anhand von diesen Bedarfsszenarien können Anforderungen an die dezentrale Versorgungsstruktur (s. Kapitel D) wie auch die Entwicklung der Softwarelösung (s. Kapitel E) definiert werden.

### B.2.1 Ist-Analyse des Bedarfsszenarios bei Alstom

*Christian Sander, Raphael Hofstädter, Florian Hennecke (ALSTOM)*

Für einige Endkunden bzw. Fahrzeugbetreiber übernimmt Alstom den Service und die Wartung der Züge für eine Laufzeit von bis zu 30 Jahren. Alstom erwirtschaftet neben der Wartung und Instandhaltung von Fahrzeugen auch durch den Vertrieb von Ersatzteilen einen wesentlichen Anteil des Umsatzes. Dabei kann es sich um Bauteile aus eigenen Plattformprodukten handeln, aber auch um Teile von Fahrzeugen der Wettbewerber.

Etwa 50 Prozent der Ersatzteile werden im Laufe des Produktlebenszyklus nur einmal benötigt (Stückzahl eins). Während somit bei Serienbauteilen der günstige Stückpreis das ausschlaggebende Kriterium ist, fallen demgegenüber bei Einzelteilen die Einmalkosten für die Herstellung viel stärker ins Gewicht. Bei „einfach“ konventionell zu fertigen Teilen ist es daher schwierig, für ein Einzelstück ein

wirtschaftlich attraktives Angebot zu erhalten. Die Konsequenz daraus ist, dass oftmals potenzielle Lieferanten trotz technischer Eignung kein Angebot abgeben, weil es sich wirtschaftlich für sie nicht rentiert. Bei dem in Bild 7 visualisierten Beispiel hat keiner der durch Alstom angefragten Lieferanten ein Angebot abgegeben, diesen Halter mit der Stückzahl eins liefern zu können.

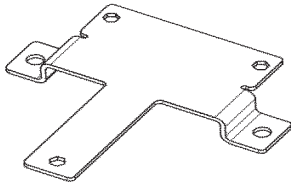


Bild 7: Einfacher Halter für ein USB-Netzteil (eigene Darstellung)

In Bild 8 (s. S. 22) ist der Prozess dargestellt, mit dem Alstom für seine Kunden Angebote für Ersatzteile erstellt. Die Fertigungsmethode Additive Fertigung lässt sich analog zur konventionellen Herstellung gut in den Prozess für die Ersatzteilbeschaffung integrieren. Während des Angebotsprozesses erfolgt in Zusammenarbeit mit der Arbeitsvorbereitung (AV) eine Kalkulation der Eigenfertigung bzw. eine Angebotseinholung mithilfe der Abteilung Sourcing (Einkauf). Auch wird überprüft, ob ein Bauteil von „Eigenfertigung“ auf „Kaufteil“ umzustellen ist. Hierbei wird der Prozess ‚A-Checklist‘ eingehalten, der Anforderungen bzgl. des Lieferanten, technische Anforderungen sowie Prüfungen und Nachweise enthält. Eine abschließende Verkaufspreiskalkulation erfolgt unter Beachtung der aktuell gültigen Kalkulationsrichtlinie.

Der Prozess der Angebotserstellung startet mit einer Anfrage eines Kunden an den Vertrieb bezüglich eines zu beschaffenden Bauteils. Bei vorhandener Teilenummer kann eine direkte Bestellung ausgelöst werden. Ist dies nicht möglich, da es sich bei den Anfragen auch um Bauteile von Wettbewerbern handeln kann, muss das Bauteil zunächst identifiziert werden. Hierbei wird durch die Arbeitsvorbereitung und bei Bedarf auch durch die Konstruktionsabteilung unterstützt. Nach erfolgreicher Ersatzteilidentifizierung wird geprüft, ob das Bauteil entweder bei *Train Life Service (TLS)* in Braunschweig oder bei *Rolling Stock (RS)* in Salzgitter als Lagerware verfügbar ist. Für diesen Fall erfolgt vom Sourcing direkt eine Kalkulation hinsichtlich der Kriterien *Quality, Cost, Delivery (QCD)*, um den Verkaufspreis zu bestimmen und das Angebot abzuschließen.

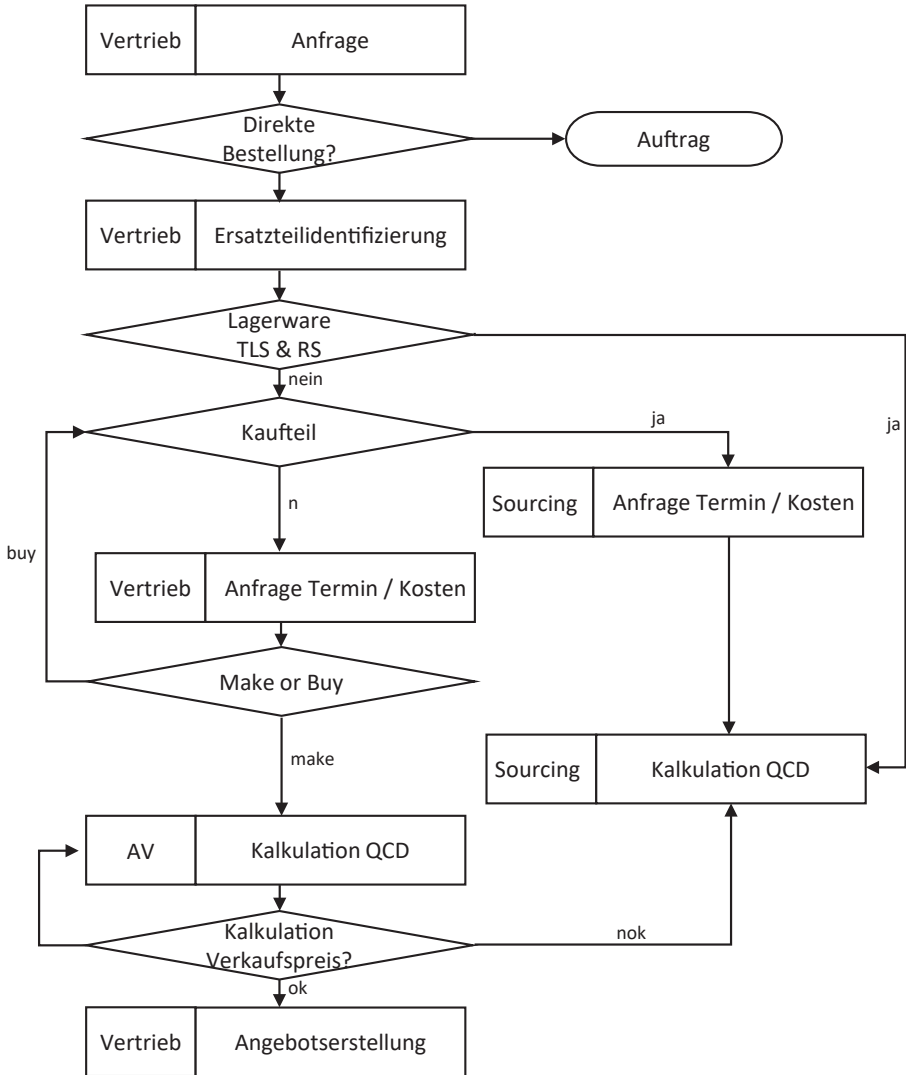


Bild 8: Ablaufdiagramm des Prozesses zum Erstellen von Angeboten im Ersatzteilvertrieb (eigene Darstellung)

Ist das Teil nicht als Lagerware, jedoch als reguläres Kaufteil verfügbar, erfolgt nach einer Anfrage vom Bereich *Sourcing* bzgl. Termin und Kosten des Teils an den Bereich Supply-Chain, ebenfalls eine QCD-Kalkulation als Kaufteil. Ist das Teil nicht als direktes Kaufteil (über einen Standardlieferanten) verfügbar, fragt der Bereich Vertrieb Vorgaben für Termin und Kosten ab. Auf Basis der bisherigen Unterlagen erfolgt eine „Make or Buy“-Entscheidung. Bei der Entscheidung „Buy“ wird das Teil als Kaufteil nach einer QCD-Kalkulation vom Bereich *Sourcing* weiterbearbeitet.

Wird die Entscheidung „Make“ getroffen, erfolgt eine entsprechende QCD-Kalkulation über die Arbeitsvorbereitung unter Einbindung der Bereiche Supply-Chain und *Sourcing*. Im Anschluss wird eine Verkaufspreiskalkulation durchgeführt. Ist diese „ok“, erstellt der Vertrieb im Prozessschritt „Angebotserstellung“ ein Angebot für den Kunden. Ergibt die Verkaufspreiskalkulation „nok“, wird das Bauteil wieder vom Bereich *Sourcing* als Kaufteil behandelt.

### Bauteilbewertung

Nach Aufnahme der Ist-Prozesse der Ersatzteilversorgung bei *Alstom* erfolgte die Bewertung verschiedener Bauteile. Um Effekte der Subjektivität auszuschließen, war es wichtig, die Sichtung und Beurteilung verschiedener Bauteile (zu beschaffende Ersatzteile sowie Bauteile aus aktuellen Neuaufträgen) von verschiedenen Personen (*Alstom*-Mitarbeitern, Studierenden im Praxisverbund, Konsortialpartnern) durchführen zu lassen. Erfreulicherweise stimmten die Bauteilbewertungen tendenziell überein (s. Bild 9, S. 24). Parallel wurde der Prozess zur Ersatzteilversorgung bei *Alstom* untersucht sowie Bauteilanforderungen und Kriterien zur Bauteilidentifikation recherchiert. Aufbauend darauf wurde ein Anforderungsschema zur Informationsaufnahme über Bauteile erstellt. Hiermit können relevante Informationen zum bisherigen Werkstoff, die Größe und das Bauteilvolumen, besondere Einsatzbedingungen und sonstige Anforderungen (beispielsweise Brandschutz, spezielle Prozesse) aufgenommen werden. Auf Grundlage dieser Informationen kann ein erster Überblick erfolgen, ob eine additive Fertigung in Anbetracht aktueller Fertigungs- bzw. Beschaffungsmöglichkeiten grundsätzlich denkbar ist.

Abschließend wurde das Bewertungsschema für exemplarische Bauteile angewendet. Darüber hinaus erfolgte die konstruktionstechnische Anpassung des Bauteils (Re-Design) zur Optimierung für die additive Fertigung. Dadurch konnte ein tieferes Verständnis auf Seiten *Alstoms* hinsichtlich der Möglichkeiten und Grenzen der additiven Fertigung erreicht werden.

	Artikelbezeichnung	Zeitaufwand			Nutzen			Begründung	benötigte Informationen
		gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch		
1	obere Drehpfanne		X				X	Nacharbeitung notwendig. Anforderungen?	Verschleißteil; Belastungsart und -größe; KU möglich?; Wie geschmiert (Antrieb?); Lackierung; Material gegenstücke; Anzugsmoment der Schraube; gehärtet
			X				X	Größe und Gewicht; Verschleißeigenschaften	
		X					X	3D-Modell scannen, sofort druckbar	
			X				X	440 x 440 mm, Stahl, geometrische Komplexität vorhanden, Bauraum zu klein	
2	Scheibe D010750 130000	X					X	einfache Geometrie	1:1 ersetzen oder abändern; Lackierung; Verschleißteil; Kontur so nötig (Schrägen)
		X					X		
		X				X		einzelne Austauschteile lohnenswert, große Stückzahl nicht wirtschaftlich	
		X			X			Ø28 mm, einfache Geometrie des Bauteils, Nachbearbeitung nötig	
3	Bogenzahnkupplung DTR00094 48191-A			X			X	komplexe Geometrie, mehrere Bauteile, Nacharbeit, Anforderungen (Toleranzen)	Materialien der einzelnen Bauteile (Steifigkeit bzw. Federeigenschaften der Materialien); Lackfarbe wichtig?; Oberflächentoleranz der Wellenaufnahme; Befestigung der Welle
				X			X	Dichtigkeit erforderlich (Öl); Auswaschung nicht verschmolzenes Pulver	
				X				müsste man vor Ort begutachten	
			X				X	komplexe Geometrie, mehrere Bauteile, Nachbearbeitung, Anforderungen (Toleranzen);	

Bild 9: Einordnungsschema zur ersten Bauteilbeurteilung, durchgeführt von verschiedenen Personen (Zeilen: 1. Alstom; 2. STIP; 3. CompriseTec; 4. IAPT)

In weiterführenden Arbeitsschritten wurde u. a. ein Auswahlverfahren entwickelt, das eine sinnvolle Nutzung von additiven Fertigungsverfahren aufzeigen soll und möglichst allgemein verständlich ist. Zur Veranschaulichung wurden mehrere Beispiel-Bauteile erstellt, die den Konstruktionsrichtlinien der additiven Fertigung entsprechen. Vor dem Hintergrund der festgelegten Zielsetzung sollte es sich an dieser Stelle idealerweise um Bauteile handeln, die als Ersatzteil verwendet werden können. Das Ergebnis der Analyse zeigt, dass eine Vielzahl an Bauteilen grundsätzlich für die additive Fertigung in Frage kommt. Darauf aufbauend sind diese Ausarbeitungen als Grundlage für den ersten Entwurf des entwickelten Softwaretools anzusehen.

### Ersatzteile aus Kunststoff

In einem Schienenfahrzeug überwiegen metallische Werkstoffe. Kunststoffe werden häufig für flächige Baugruppen, etwa für Bekleidungen oder für Systemkomponenten wie Stecker, Adapter oder Gehäuse, verwendet. Für eine wirtschaftliche Herstellung von Ersatzteilen durch die additive Fertigung sind vor allem Bauteile mit kleinem Volumen (günstig zu drucken) und komplizierter Geometrie (Herstellung durch kostenintensive konventionelle Fertigung) geeignet. Ein großer Teil dieser Bauteile ist metallisch und kann nach heutigem Stand nicht wirtschaftlich additiv gefertigt werden. Allerdings kommt es immer wieder vor, dass Hersteller von Kauf-Baugruppen vom Markt verschwinden (z. B. durch Insolvenz). Je nach rechtlicher Situation (Schutz- und Urheberrechte) können die Bauteile nicht (sofort) von einem anderen Anbieter bezogen werden. Für die Baugruppe muss ein Ersatzteil geschaffen werden. In diesem Fall können häufig auch metallische Baugruppen durch Kunststoff-Baugruppen ersetzt werden, obwohl das vielleicht auf den ersten Blick als nicht umsetzbar erscheint. In Bild 10 ist dies exemplarisch verdeutlicht. Das Ersatzbauteil rechts auf dem Bild wiegt etwas weniger als 400 g (statt 4,2 kg), besteht aus drei einzelnen Bauteilen (statt 23 Komponenten), kann in zehn Tagen beschafft werden (statt in 20 Tagen während der Serienlieferung bzw. 80 Tagen nach finaler Lieferung der Serienteile) und kostet 10 – 15 Prozent weniger als die derzeitige Komponente. Das Bauteil wurde im Alstom-Konzern in die Liste der besten zehn additiv gefertigten Bauteile aufgenommen und wird als Schulungsbeispiel für additive Fertigung verwendet. Es vereint die typischen Vorteile der additiven Fertigung, denn es ist komplex, aber mit einem überschaubaren Bauteilvolumen und einer bezogen auf die Herstelltechnologie optimierten Geometrie. Es zeigt auf, dass additiv hergestellte Bauteile in der geforderten Qualität und Zeit produzierbar sind und dabei auch wirtschaftlich sein können. Die veränderte Konstruktion hin zu einem Integralbauteil reduziert nicht nur den Montageaufwand, sondern senkt in diesem Beispiel sogar die Herstellkosten gegenüber der konventionellen Fertigung signifikant.

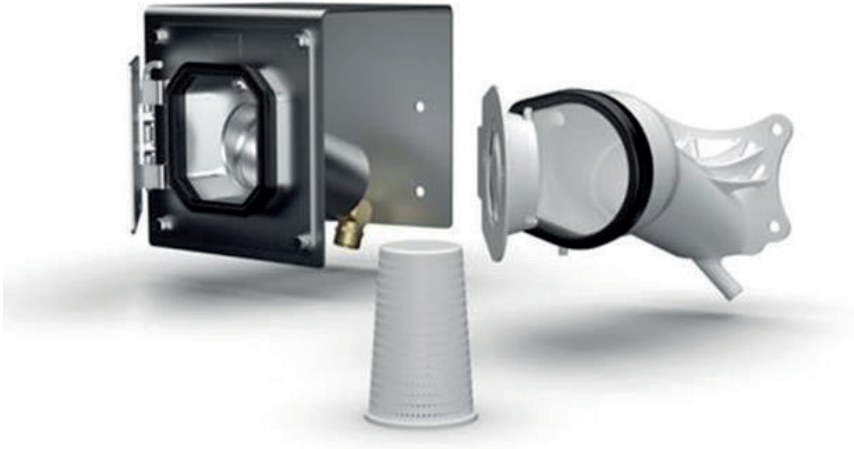


Bild 10: Gegenüberstellung Bauteil vorher (links) und Bauteil nach dem Re-Design für die additive Fertigung (rechts); in der Mitte der herausnehmbare Filtereinsatz vom neu entwickelten Bauteil (eigene Darstellung)

## B.2.2 Ist-Analyse des Bedarfsszenarios bei TOP

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

Um die Anforderungen an eine dezentrale Produktion von Ersatzteilen unter Anwendung additiver Fertigungsverfahren definieren zu können, wurde zunächst eine Ist-Analyse aller relevanten Prozesse der Ersatzteillogistik aufgenommen. Die Prozesse wurden gemäß der *Business Process Model and Notation* (BPMN) in der Software Visio visualisiert. Das BPMN stellt eine grafische Methode zur Darstellung von Geschäftsprozessen und Arbeitsabläufen dar (s. WHITE 2004, S. 1). Die dabei aufgenommenen Prozesse umfassen sowohl die Bestell-, Transport- und Lagervorgänge als auch die dazugehörigen Steuerungsprozesse. In diesem Zusammenhang wurde eine Prozesslandkarte zur Darstellung des gesamten unternehmenseigenen Logistiknetzwerks und der dazugehörigen Kunden- und Dienstleisterbeziehungen erzeugt. Die Prozesslandkarte wurde hinsichtlich prozessualer und organisatorischer Merkmale sowie in Bezug auf die bestehende IT-Landschaft untersucht. Ein Auszug der Prozesslandkarte kann dem nachfolgenden Bild 11 entnommen werden, worin der prozessuale Ablauf der Durchführung eines Technikauftrags dargestellt ist.

Die verschiedenen Auftragsszenarien, die bei der Ist-Analyse betrachtet wurden, sind folgende:



- Szenario A – Technischer Kurier (Störungsmeldung eines vollständig gemanagten Calls): Der technische Kurier ist ein Mitarbeiter, welcher Same-Day- wie auch Next-Day-Lieferungen durchführt und dabei technische Aufgaben übernimmt, die eine geringe bis mittlere Qualifikation erfordern. Dies beinhaltet beispielsweise den Austausch von Druckern. Unter einem vollständig gemanagten Call ist ein Störungsauftrag gemeint, der gemäß der Arbeitsanweisung problemlos bearbeitet werden kann.
- Szenario B – Eigener Techniker (Störungsmeldung eines vollständig gemanagten Calls): Die eigenen Techniker weisen eine mittlere bis hohe technische Qualifikation auf und sind ebenfalls im Same-Day- wie auch Next-Day-Bereich tätig. Sie führen technisch anspruchsvollere Tätigkeiten wie beispielsweise Wartungsarbeiten wie auch Fehleranalysen vor Ort durch. Hierbei ist unter einem vollständig gemanagten Call ein Störungsauftrag gemeint, der problemlos und beim ersten Versuch behoben werden kann.
- Szenario C – Eigener Techniker (Störungsmeldung eines unvollständig gemanagten Calls): Auch dieses Szenario beschreibt eigene Techniker mit mittleren bis hohen Qualifikationen. Der Unterschied zum vorherigen Szenario besteht in dem unvollständig gemanagten Call. Dieser stellt einen Störungsauftrag dar, der keinen qualifizierten Aktionsplan zur Vorgehensweise der Störungsbehebung hat und deshalb ggf. nicht bei der ersten Anfahrt durch beim Techniker vorhandene Ersatzteile behoben werden kann, sondern eine Bestellung des benötigten Ersatzteils erfordert und ggf. eine zweite Anfahrt notwendig macht.
- Szenario D – Emergency-Warehouse: Das Szenario Emergency-Warehouse umfasst die Prozesse zur Bereitstellung des benötigten Ersatzteils nach einer Bestellung eines Kundentechnikers.
- Szenario E – Detailprozess des Emergency-Warehouse (Bestandsmanagement): Dieses Szenario umfasst die Prozessabläufe des Bestandsmanagements der dezentralen Lagerstruktur von TOP Mehrwert-Logistik zur Erfüllung der Mindestbestände.

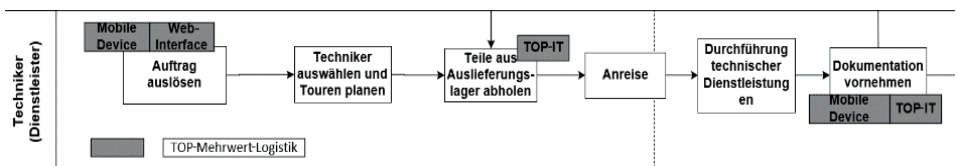


Bild 11: Exemplarischer Auszug der Prozesslandkarte am Beispiel eines Technikers (eigene Darstellung)

## Szenario A

Das Auftragsszenario A ist eine vollständige Störungsmeldung, die eines technischen Kuriers bedarf. Wesentliche Akteure in dieser Betrachtung sind der Kunde, der die Störungsmeldung übermittelt, das Callcenter zur Bearbeitung des Störungsauftrags, das Lager zur Bereitstellung des benötigten Ersatzteils. Gegebenenfalls wird zur Beschaffung des Ersatzteils hierbei auch auf das Kundenlager zurückgegriffen, wenn für das entsprechende Ersatzteil eine vertragliche Regelung der Bereitstellung außerhalb der Lager von TOP vereinbart ist. Ein weiterer Akteur ist der technische Kurier, welcher neben der Lieferung auch die technische Dienstleistung durchführt. Die in diesem Szenario dargestellten technischen Dienstleistungen stellen keine hohen Qualifikationsanforderungen an die Mitarbeiter. Aus diesem Grund wird neben dem eigenen technischen Kurier bei Bedarf auch auf weitere, vertraglich vereinbarte, externe Dienstleister zurückgegriffen, die dazu befähigt sind, einfache technische Dienstleistungen wie z. B. den Austausch von Druckern vorzunehmen.

## Szenario B

Das Auftragsszenario B ist eine vollständige Störungsmeldung, die mit einem eigenen Techniker behoben wird. Eine vollständige Störungsmeldung umfasst die problemlose Bearbeitung der Störung gemäß einer vorher definierten Arbeitsanweisung ohne die Notwendigkeit einer erneuten Anfahrt durch fehlende Ersatzteile des Technikers. Dieses Auftragsszenario umfasst die Akteure des Kunden, der eine vollständige Störungsmeldung an TOP übermittelt, welche anhand eines vorqualifizierten Aktionsplans bearbeitet wird, sowie das Callcenter zur Bearbeitung der Störungsmeldung. Ein weiterer Akteur ist der Techniker von TOP zur Erbringung der Servicedienstleistung. Falls das erforderliche Ersatzteil weder im Wagenbestand des Technikerfahrzeugs noch im Lagerbestand von TOP vorrätig ist, wird auf das Kundenlager zurückgegriffen. Hier kann das geforderte Ersatzteil bereitgestellt werden und durch den kundeneigenen Logistikdienstleister z. B. durch eine Kofferraumbelieferung zugestellt werden.

## Szenario C

Das Auftragsszenario C ist eine unvollständige Störungsmeldung, die durch einen eigenen Techniker von TOP behoben wird. Die in diesem Szenario relevanten Akteure sind identisch zu denen aus Auftragsszenario B. Der wesentliche Unterschied zum vorherigen Auftragsszenario besteht in dem Fehlen eines vorqualifizierten Aktionsplans mit einer detaillierten Vorgehensweise zur Behebung der technischen Störung. Dies führt zu der Notwendigkeit, dass der Techniker vor der Durchführung der Servicedienstleistungen den Kontakt zum Kunden aufnimmt und die notwendige vorherige Klärung und Bewertung der Störung durchführt. Dennoch kann dies dazu führen, dass der Techniker die Störung nicht bei der ersten Anfahrt beheben kann, da die entsprechenden Ersatzteile nicht im

Wagenbestand vorrätig sind und somit eine erneute Anfahrt mit dem entsprechend benötigten Ersatzteil notwendig ist. In diesem Fall verläuft der Prozess in einer Schleife von vorne. Könnte die Störung behoben werden, erfolgt die identische Prozessabfolge wie im vorherigen Auftragsszenario beschrieben.

### Szenario D

Dieses Auftragsszenario Emergency-Warehouse beinhaltet vier Akteure. Die Techniker des Kunden, die bei TOP eine Ersatzteillieferung beauftragen, stellen einen zentralen Akteur dar. Darüber hinaus ist das Callcenter mit den Aufgaben der Auftragsbearbeitung und des Controllings von besonderer Relevanz. Ein weiterer Akteur sind die dezentralen Distributionscenter von TOP, die nur eine geringe Distanz zum Ort der Störung aufweisen dürfen, um auf die Notfalllage der Ersatzteilbereitstellung schnell reagieren zu können. Des Weiteren ist der LDL als vierter Akteur zu nennen. Der Transport des benötigten Ersatzteils erfolgt dabei, wenn möglich, von eigenen Fahrern von TOP, aber ggf. auch von externen LDL, die Fahrer auf Basis einer vertraglichen Vereinbarung innerhalb eines gewissen Zeitraums bereitstellen müssen. Die zwei wesentlichen Aspekte, die in dieser Prozessdokumentation dargestellt sind, sind zum einen der Transport der benötigten Waren und zum anderen das Retourenhandling nach erfolgter Lieferung zum Kundentechniker.

### Szenario E

Das Szenario E stellt das Bestandsmanagement für das Emergency-Warehousing dar. Im Unterschied zur Prozessdokumentation des Emergency-Warehouse im vorangegangenen Abschnitt, die den Aspekt der Teilelieferung und des Retouren-Handlings im Fokus hat, konzentriert sich dieses Auftragsszenario auf die Prozesse des Bestandsmanagements zur Teilbereitstellung und Wiederbefüllung der dezentralen Lager von TOP. Dabei handelt es sich um einen separaten Prozess, der ausgelöst wird durch die Unterschreitung der definierten Mindestbestände zur Bereitstellung eines Ersatzteils durch den auftragsbezogenen Transport zum Techniker (s. Szenario D). Die wesentlichen Akteure in diesem Auftragsszenario sind auf Kundenseite zum einen das Kundenzentrallager zur Belieferung der Ersatzteile an das Zentrallager von TOP, das Kundenbestandsmanagement, welches Zielvorgaben zur Lagerbestandsgröße in den dezentralen Lagern von TOP definiert, die Lieferanten für den Kunden zur Ersatzteilversendung an das Zentrallager des Kunden. Zum anderen sind auf Seiten von TOP die dezentralen Lagerhäuser, die einen vorgegebenen Mindestbestand an Ersatzteilen zur Notfallbelieferung vorrätig halten müssen, und das Zentrallager zur Ersatzteilversendung an die dezentralen Lager wesentliche Akteure in diesem Szenario. In dieser Prozessdokumentation sind dabei die Warenströme zur Erreichung der Mindestbestandsvorgaben eines Ersatzteils dargestellt. Wird eine Unterschreitung des Mindestbestands in einem dezentralen Lager von TOP gemeldet, erfolgt zunächst eine Bauteilnachbestellung beim Zentrallager von TOP. Sollte

auch im Zentrallager kein ausreichender Bestand des Ersatzteils mehr vorrätig sein, erfolgt eine Bestellung beim Zentrallager des jeweiligen Kunden, der das Ersatzteil bereitstellen muss. Für den Fall, dass auch im Kundenzentrallager das benötigte Ersatzteil nicht vorhanden ist, muss das Ersatzteil beim Lieferanten bestellt werden, welches zunächst ans Zentrallager des Kunden transportiert wird. Anschließend wird es an das Zentrallager von TOP gesendet, bis es schlussendlich an das Regionallager transportiert wird und der Mindestbestand des Ersatzteils wieder gewährleistet ist.

### B.3 Definition der Anforderungen

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

Ausgehend von dem in Kapitel B.1 beschriebenen Teilespektrums wurden die für die Entwicklung der benötigten AM-Fertigungsprozessketten typischen Bauteilanforderungen abgeleitet. Zusammenfassend konnten insgesamt 29 Anforderungen identifiziert werden, welche im folgenden Bild 12 (s. S. 30 f.) detailliert dargestellt sind. Die dabei aufgenommenen Bauteilanforderungen sind zudem in verschiedene Klassen eingeteilt. Dabei werden die Klassen der Stoffe, Geometrie, Kontrolle, Kosten, Termin, Fertigung und Kräfte unterschieden. Die weiteren Anforderungen sind unter dem Begriff ‘Sonstiges’ klassifiziert. Neben der Einordnung in verschiedene Klassen findet eine Unterscheidung statt, ob es sich bei der jeweiligen Bauteilanforderung um ein Pflichtkriterium (P) oder ein Wahlkriterium (W) handelt. Handelt es sich um ein Pflichtkriterium, ist die Bauteilanforderung in der Ausgestaltung der Softwarelösung zwingend zu beachten.

Nr.	Klasse	P / W	Name	Anforderungen	Einheit
1	Stoff	P	Material	gewünschtes Bauteilmaterial	Freitext
2	Geometrie	W	Oberfläche	geforderte Toleranzklasse (DIN EN ISO 286-1)	µm
3	Geometrie	P	Toleranzklasse	geforderte Toleranzklasse (DIN EN ISO 286-1)	IT
4	Geometrie	P	Länge	max. Bauteillänge	mm
5	Geometrie	P	Breite	max. Bauteilbreite	mm
6	Geometrie	P	Höhe	max. Bauteilhöhe	mm
7	Geometrie	P	Volumen	Bauteilvolumen	mm <sup>3</sup>
8	Geometrie	P	Gewicht	Bauteilgewicht	kg
9	Geometrie	P	Stegbreite	kleinste herzustellende Struktur	mm

10	Geometrie	P	Hinterschnitte	Gibt es Hinterschnitte?	ja / nein
11	Geometrie	P	Oberfläche Hinterschnitt	Oberflächengüte des Hinterschnitts (Ra)	µm
12	Kontrolle	P	Qualität	Dichteprüfung	ja / nein
13	Kontrolle	P	Qualität	Porenfreiheit überprüfen	ja / nein
14	Kontrolle	P	Qualität	Oberflächengüte überprüfen	ja / nein
15	Kontrolle	P	Qualität	Zugfestigkeitsprüfung	ja / nein
16	Kontrolle	P	Qualität	Gestaltabweichung/ Toleranzhaltigkeit prüfen	ja / nein
17	Kontrolle	P	Qualität	Härteprüfung	ja / nein
18	Kontrolle	P	Qualität	chemische Zusammen- setzung prüfen	ja / nein
19	Kontrolle	W	Qualität: W. Prüfungen	spezielle Prüfungen?	Freitext
20	Kosten	W	Bauteilkosten	max. Bauteilkosten	Euro
21	Termin	W	DLZ	max. zulässige Durchlaufzeit	Tage
22	Fertigung	W	Stückzahl	geschätzte jährliche Stück- zahl des Bauteils	Stk. / Jahr
23	Fertigung	W	Losgröße Ø	durchschnittlich gewünschte Losgröße	Stk. / Los
24	Geometrie	W	Freiform- flächen	Sind Freiformflächen vorhanden?	ja / nein
25	Kräfte	W	Fatigue	Fatigue-kritisches Bauteil? Schwingende Belastung?	ja / nein
26	Stoff	W	Zugfestigkeit	gewünschte statische Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
27	Stoff	W	Härte	gewünschte Oberflächenhärte	HRC
28	Stoff	W	Wärme- behandlung	spezielle Wärmebe- handlung (T6, Auslagern)	Auswahl
29	Sonstiges	W	weitere Anforderungen	eloxierbar, chemisch polierbar, trowalisierbar	Freitext

Bild 12: Bauteilanforderungsliste

Die Bestimmung der Kompetenz- und Kapazitätsmerkmale, anhand derer sich geeignete Lieferanten für das integrierte Dienstleistungskonzept bestimmen lassen, ist eine wichtige Voraussetzung bei der Produzentenauswahl im Rahmen der Ersatzteilversorgung. Die Anforderungen an die Lieferanten hängen in der Ersatzteillogistik stark von den Randbedingungen des Kundenauftrags ab. Es kann zwischen Kompetenzen für zeitkritische oder zeitunkritische sowie für konventionelle oder additive Fertigung unterschieden werden. Es ergeben sich die folgenden drei zentralen Ersatzteilversorgungstypen:

- zeitkritische additive Ersatzteilversorgung ohne Lagerung
- zeitunkritische additive Ersatzteilversorgung ohne Lagerung
- konventionelle Ersatzteilversorgung mit Lagerstruktur

Die zeitkritische additive Ersatzteilversorgung adressiert Ersatzteile, die plötzlich anfallen und sofort benötigt werden. Es handelt sich um funktionsrelevante Teile, ohne die das Gesamtobjekt nicht funktionsfähig ist. Die zeitunkritische additive Ersatzteilversorgung adressiert Ersatzteillieferungen, bei denen kein akuter Zeitdruck besteht. Es handelt sich um Bauteile vordefinierter Lebensdauer, deren additive Fertigung unter den Gesichtspunkten der Qualität oder der Wirtschaftlichkeit der konventionellen Fertigung überlegen ist. Darüber hinaus ist dieser Versorgungstyp durch die Zeitunabhängigkeit charakterisiert. Andere Kriterien wie die Kosten und das langfristige Potenzial der Lieferantenbeziehung gewinnen in diesem Ersatzteilversorgungstyp an Bedeutung. Bei dem konventionellen Ersatzteilversorgungstyp werden alle Kundenaufträge betrachtet, bei denen die Ersatzteile nach wie vor mit konventionellen Herstellungsmethoden gefertigt und durch klassische Lagerstrukturen bevorratet werden. Eine additive Fertigung der Bauteile ist technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Abgeleitet von diesen Versorgungstypen konnte aus logistischer Sicht eine hohe Anzahl verschiedener Servicevarianten und -qualitäten ermittelt werden, die insbesondere deutliche Unterschiede hinsichtlich ihrer Eignung für eine Kombination mit bedarfsgenauer Ersatzteulfertigung aufwiesen. Deutlich wurde im Rahmen der Anforderungserhebung, dass logistische Systeme weniger hinsichtlich ihrer Liefergeschwindigkeit, sondern eher bezüglich ihrer Wandelbarkeit und ihrer Effizienz herausgefordert werden. Von besonderer Wichtigkeit scheinen hierbei ein enger Informationsaustausch zwischen den Prozessakteuren und eine kontinuierliche Neubewertung der Netzwerkbeziehungen zu sein.

Als wesentliche Entscheidungskriterien für eine strukturierte Auswahl von Produktionsdienstleistern konnten 24 Kompetenzmerkmale, wie z. B. Durchlaufzeit, Fertigungskosten und Fertigungsqualität, identifiziert werden. Diese Kompetenzmerkmale ergeben sich aus den Randbedingungen eines Kundenauftrags in der Ersatzteillogistik.

Kompetenzmerkmale		Hauptkriterien			
		Zeit	Kosten	Qualität	strategische Ausrichtung
1	Durchlaufzeit	W	X	-	-
2	Lager	X	X	-	-
3	Termintreue	X	-	-	-
4	Flexibilität	X	-	X	-
5	Kapazitätsauslastung	X	X	X	-
6	Transportdauer	X	-	-	-
7	Transportkosten	-	X	-	-
8	Personalkosten	-	X	-	-
9	Fertigungskosten	-	X	-	-
10	Produktpreis	-	X	-	-
11	Material(-versorgung)	X	X	X	-
12	Zuverlässigkeit	X	-	X	-
13	Automatisierungsgrad	X	-	X	-
14	Kommunikation & Datentransparenz	X	-	X	-
15	Fertigungs-Know-how	X	-	X	-
16	Produkt-Know-how	-	-	X	-
17	Produktqualität	-	-	X	-
18	Qualitätsmanagement	-	-	X	-
19	Service & Dienstleistung	-	-	X	X

Bild 13: Kompetenzmerkmale inklusive der Zuordnung zu den Hauptkriterien

Diese Kompetenzmerkmale wurden in Abhängigkeit der Hauptkriterien *Zeit*, *Kosten*, *Qualität* und der *strategischen Ausrichtung* differenziert. Hierbei wird deutlich, dass für die identifizierten Ersatzteilversorgungstypen unterschiedliche Kompetenzprofile erforderlich sind. Im nachfolgenden Bild 14 ist ein Polarprofil zur Darstellung von geforderten Lieferantenprofilen dargestellt.

Im additiven zeitkritischen Fall sind beispielsweise die Durchlaufzeit, Termintreue, Kapazitätsauslastung, Transportdauer, Zuverlässigkeit und die Kommunikation sowie Datentransparenz von besonderer Relevanz. In der Ersatzteillogistik spielen Kapazitätsmerkmale meist eine geringere Rolle als in der herkömmlichen Lieferantenauswahl, da die Aufträge selten langfristigen Charakter aufweisen und die Losgrößen meist sehr klein sind.

Die Ersatzteillogistik unterscheidet sich damit von der klassischen Lieferantenbeziehung, bei der das Know-how und die Fähigkeiten der Lieferanten integriert werden und häufig einen essenziellen Teil des Wertschöpfungsprozesses darstellen. Durch den klar definierten Input ergibt sich mit dem AM darüber hinaus sogar die Möglichkeit, einen Auftrag erhöhter Stückzahl auf mehrere Produzenten aufzuteilen. Im Falle einer konventionellen Fertigung ist zu berücksichtigen, dass es schwierig ist, Ersatzteile gleicher Qualität von verschiedenen Produzenten zu beziehen. Außerdem kann bei bestimmten Spezialteilen der Produzent in die Produktentwicklung einbezogen sein, sodass seine Kapazitäten ebenfalls zu berücksichtigen sind.

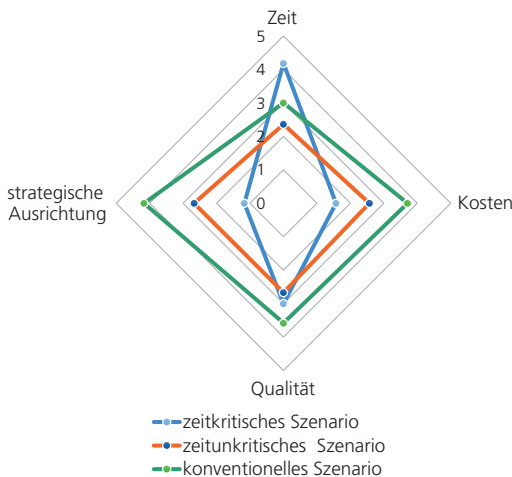


Bild 14: Polarprofil zur Veranschaulichung von geforderten Lieferantenprofilen für einzelne Auftragsszenarien (eigene Darstellung)



## B.4 Erfolgsaussichten des Forschungsprojekts

*Christian Sander, Raphael Hofstädter, Florian Hennecke (ALSTOM)*

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte bereits nach kurzer Zeit bestätigt werden, dass in der Schienenfahrzeugbranche ausreichend viele potenziell geeignete Ersatzteile existieren. Im Rahmen einer Werksbesichtigung im Regionalzugbereich der *Alstom Transport Deutschland GmbH* in Salzgitter konnten etwa 20 – 30 Bauteile aus dem Bereich Güterwagenreparatur sowie Produkte aus den verschiedenen Plattformen für Regionaltriebzüge identifiziert werden. Durch den monatlichen Austausch einer aktuellen Bedarfsübersicht hinsichtlich der benötigten Ersatzteile im Bereich ‚Service und Wartung‘ zwischen den Service-Managern von *Alstom Services* in Braunschweig und den 3D-Druck-Experten in Salzgitter konnten kontinuierlich weitere geeignete Bauteile identifiziert werden.

### Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Das Marktpotenzial für additiv gefertigte Ersatzteile für die Schienenfahrzeugindustrie lässt sich schätzungsweise wie folgt berechnen: Ein typisches Schienenfahrzeug besteht bei *Alstom* aus etwa 20 000 verschiedenen Teilen. Aufgeteilt auf zehn verschiedene Schienenfahrzeug-Plattformen ergibt sich bei *Alstom* ein Sortiment von 200 000 verschiedenen Teilen. Etwa 50 Prozent der Ersatzteilbestellung sind dabei nicht wiederkehrende Anfragen. *Alstom* sieht daher ein großes Einsparpotenzial bei etwa 100 000 Ersatzteilen, unter der Annahme, dass nur 0,1 Prozent der Teile additiv On-Demand produziert werden können. Dabei wurde der Prozentsatz mit 0,1 Prozent bewusst niedrig angesetzt.

Durch eine Änderung des Geschäftsmodells hin zu einer serviceorientierteren Gestaltung des Vertragswerkes geht *Alstom* davon aus, dass in Zukunft die Anzahl der Ersatzteile steigen wird. Dies lässt sich dadurch begründen, dass zunehmend mit dem Erwerb eines Schienenfahrzeugs auch Wartungsverträge abgeschlossen werden und somit die Anzahl an Ersatzteilen, welche *Alstom* bereitstellen muss, deutlich ansteigen wird.

Als kurzfristiges Ergebnis wird erwartet, dass *Alstom* nach Abschluss des Forschungsprojekts in der Lage ist, das zu entwickelnde neue Supply-Service-Modell des Logistikdienstleisters zur Ersatzteilversorgung mittels 3D-Druck zu nutzen. Dazu ist es notwendig, die zu entwickelnde 3Dprint-Knowledge-Base möglichst umfangreich zu verstehen, um die notwendigen Designanpassungen für Ersatzteile so gering wie möglich zu halten und damit letztlich eine wirtschaftliche Fertigung zu ermöglichen. Es muss für einen Fertigungsexperten möglich sein, die geeignetste

Fertigungsmethode (z. B. CNC-Fräsen, Gießen oder additive Fertigung) auszuwählen. Kurzfristig wird ein Ergebnis auch als erfolgreich angesehen, wenn additiv gefertigte Ersatzteile nicht teurer als konventionell gefertigte Ersatzteile sind.

Ein mittelfristiges Ziel ist, dass sich generative Fertigung, neben den heute etablierten Methoden, als weitere Fertigungsmöglichkeit bewähren kann und der Anteil an generativ gefertigten Ersatzteilen die angestrebte Rate von 0,1 Prozent erreicht sowie langfristig auch übersteigt.

### **Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten**

Obwohl die untersuchten Bauteile aus der Schienenfahrzeugindustrie oder der Luftfahrt stammen, werden sie sich mit geringem Aufwand auf andere Bereiche des Maschinen- und Anlagenbaus übertragen lassen. Damit verfügt die zu entwickelnde 3Dprint-Knowledge-Base über eine hohe Branchenübertragbarkeit.

Der Ergebnistransfer innerhalb von Alstom wird durch ein Expertennetzwerk gewährleistet. Zu den Aufgaben des Netzwerks gehört es auch, Werksnormen zu verfassen. Die Knowledge-Base bzw. ein Teil davon werden dazu beitragen, die Werksnormen zu schreiben, indem Vorgaben für bestimmte Parameter und Randbedingungen aufgezeigt werden. Derzeit wird daran gearbeitet, dass Alstom-Werksnormen öffentlich verfügbar sind. Es liegt im Interesse von Alstom, wenn (potenzielle) Lieferanten die Anforderungen von Alstom früh kennen und auch einhalten können. Eine weitere Möglichkeit stellt der Ergebnistransfer über den Verein *Mobility Goes Additive e. V.* (weiteres unter: [mobilitygoesadditive.org](http://mobilitygoesadditive.org)) dar, in dem unter anderem das *Fraunhofer IAPT*, *vormals Laser Zentrum Nord*, und die *Deutsche Bahn* Gründungsmitglieder sind. *Mobility Goes Additive* ist das führende Netzwerk für additive Fertigung in der Mobilitäts- und Logistikbranche. Alstom hat eine Absichtserklärung unterzeichnet, dem Netzwerk beizutreten.

### **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Mittelfristig lässt sich das erarbeitete Wissen in der 3Dprint-Knowledge-Base nicht nur für Ersatzteile anwenden. Wenn die Grundprinzipien verstanden wurden, die zu einem wirtschaftlich additiv gefertigten Bauteil führen, können diese auch auf Neu- oder Änderungskonstruktionen übertragen werden. Es handelt sich dabei jedoch um eine anspruchsvolle Herausforderung, da Neukonstruktionen üblicherweise in höheren Stückzahlen benötigt werden und mit längerer Lieferdauer zulässig sind. Die additive Fertigung kann daher nur einen Teil ihrer Vorteile ausschöpfen. Hier gilt es, im Einzelfall die Entscheidung für oder gegen eine additive Fertigung der Neukonstruktion auf Basis der spezifischen Rahmenbedingungen zu treffen. Langfristig soll es so möglich werden, die additive Fertigung als weitere wirtschaftliche Fertigungsmethode für den Schienenfahrzeugbau zu etablieren.

## C. 3DPRINT-KNOWLEDGE-BASE

Lars Schott (CompriseTec), Olaf Steinmeier, Yannick Löw, Ruben Meuth,  
Juan Miquel Diaz del Castillo (IAPT)

Additive Fertigung ist eine Bezeichnung für Fertigungsverfahren, mit denen der direkte Aufbau von Bauteilen aus digitalen Konstruktionsdaten möglich ist. Im Gegensatz zu den klassischen Verfahren werden die Bauteile durch additive Ablagerung von Materialschichten hergestellt [VDI3405]. Die Bezeichnung Additive Fertigung bildet dabei den Oberbegriff für eine Reihe verschiedener Verfahren.

Im Laufe der Entwicklung der additiven Fertigungsverfahren und der daraus resultierenden Einsatzbereichen entstanden unterschiedliche, oftmals auch uneinheitliche Bezeichnungen. So fand anfangs durch den Einsatz im Prototypenbau der Begriff *Rapid Prototyping* Verwendung. Der zunehmende Einsatz als Fertigungsverfahren im Werkzeugbau bzw. als Herstellungsverfahren für funktionsfähige Endprodukte etablierte die damit verwandten Termini *Rapid Tooling* und *Rapid Manufacturing*. Darauf folgte die Bezeichnung generative Fertigungsverfahren, wie sie auch in der VDI-Richtlinie 3404 in der Fassung von 2009 genannt wird. Aktuell hat sich die Benennung als additive Fertigung *Additive Manufacturing (AM)* im wissenschaftlichen und industriellen Bereich etabliert. Im Konsumenten- bzw. Heimbereich ist oftmals auch ‚3D-Drucken‘ als Synonym für AM gebräuchlich. Laut ISO / ASTM 52900 lassen sich die unterschiedlichen Verfahren der additiven Fertigung in die folgenden sieben Gruppen einteilen (s. Bild 15, S. 37 f.):

Gruppe	Bezeichnung	Kurzbeschreibung des AM-Verfahren
1	Pulverbettbasiertes Schmelzen ( <i>Powder Bed Fusion</i> )	... ist ein additives Herstellungsverfahren, bei dem selektiv Bereiche eines Pulverbettes mittels thermischer Energie verschmolzen werden.
2	Gerichtete Energie-deposition ( <i>Directed Energy Deposition</i> )	... ist ein additiver Herstellungsprozess, welcher fokussierte thermische Energie zum Aufschmelzen von Material nutzt, während das Material aufgetragen wird.
3	Materialextrusion ( <i>Material Extrusion</i> )	... ist ein additives Herstellungsverfahren, bei dem das Material selektiv durch eine Düse oder Blende abgegeben wird.
4	Material-Jetting	... ist ein additives Herstellungsverfahren, bei dem Baumaterial selektiv in Tropfenform abgelagert wird.

5	Binder-Jetting	... ist ein additives Herstellungsverfahren, bei dem ein flüssiges Bindemittel selektiv abgeschieden wird, um Pulvermaterialien zu verbinden.
6	Fotopolymerisation im Bad (Vat Photopolymerization)	... ist ein additives Herstellungsverfahren, bei dem flüssiges Fotopolymer in einem Becken selektiv durch Licht vernetzt wird.
7	Sheet-Lamination	... ist ein additives Herstellungsverfahren, bei dem einzelne Schichtelemente wie Bleche oder Folien miteinander verbunden werden.

Bild 15: Verfahren der additiven Fertigung

In der 3Dprint-Knowledge-Base werden Informationen zusammengetragen, die das Verständnis für die additive Fertigungstechnologie fördern sollen. Dabei werden Konzepte und Kriterien entwickelt, die den Logistikdienstleister bei der Integration der additiven Fertigungstechnologie in sein Dienstleistungsportfolio unterstützen.

Es werden Kriterien entwickelt, die zur Analyse von Bauteilen herangezogen werden können, ob die additive Fertigungstechnologie eine attraktive Alternative zum bisherigen Fertigungsverfahren darstellt (s. Kapitel C.1). Des Weiteren werden Kriterien entwickelt, die die Kategorisierung und Einordnung von 3D-Druck-Produzenten erlauben (s. Kapitel C.2). Weiterhin wird ein Einblick in ein Qualitätssicherungskonzept gegeben, um die additive Fertigungstechnologie prozesssicher umzusetzen (s. Kapitel C.3).

## C.1 Bewertung des additiven Potenzials von Ersatzteilen

Lars Schott (CompriseTec)

Zur Beurteilung der Fragestellung, ob die additive Fertigung eine sinnvolle Alternative gegenüber einer konventionellen Fertigung, beispielsweise Beschaffung eines Bauteils, darstellt, müssen bauteilabhängige Bewertungskriterien aufgestellt werden. Auf Basis dieser Kriterien ist eine einordnende Bewertung hinsichtlich folgender Aspekte möglich:

- In welchem Maße ist das zu fertigende Bauteil mit additiven Fertigungsverfahren produzierbar (Machbarkeitsanalyse)?
- Ist die additive Fertigung wirtschaftlich (Wirtschaftlichkeitsanalyse)?

Ein wesentlicher Bestandteil der Wirtschaftlichkeitsanalyse ist die Analyse, ob der Wert des Ersatzteils mit der Nutzung additiver Fertigungsverfahren gesteigert werden kann.

Die Analyse der Bauteile geht bewusst über die reine Überprüfung der Fertigbarkeit mit bestehenden additiven Verfahren hinaus, um dem Kunden ein umfassenderes Feedback über die sinnvolle Anwendung der additiven Prozesse zu vermitteln. So kann beispielsweise eine additive Fertigbarkeit technisch möglich sein, jedoch stellt das konventionelle Fertigungsverfahren eine wirtschaftlich attraktivere Alternative dar.

Um einen Vergleich mehrerer Bauteile miteinander zu ermöglichen, werden die Bauteilinformationen im Verhältnis zueinander gewichtet und zu Ergebnisparametern zusammengefasst. Somit wird die Möglichkeit geschaffen, aus einer Bauteildatenbank die für die additive Fertigungstechnologie attraktivsten Bauteile herauszusuchen.

Die Bewertungskriterien lassen sich in „technisches Potenzial“ und „wirtschaftliches Potenzial“ aufteilen. Die angewendeten Kriterien können dem nachfolgenden Bild 16 entnommen werden.

Technisches Potenzial	Wirtschaftliches Potenzial
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimension</li> <li>• Material</li> <li>• Qualität</li> <li>• Oberflächenbeschaffenheit</li> <li>• Mechanische Belastung</li> <li>• Brandschutz nach DIN EN 45545</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederbeschaffung               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederbeschaffungskosten</li> <li>• Wiederbeschaffungszeit</li> </ul> </li> <li>• Volumen &amp; Oberfläche               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauteilvolumen</li> <li>• Bauteiloberfläche (optional)</li> </ul> </li> <li>• Bauteildringlichkeit</li> <li>• Bauteilkomplexität</li> <li>• Wertsteigerung               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integralbauweise</li> <li>• Leichtbau</li> <li>• Funktionsintegration</li> </ul> </li> </ul>

Bild 16: Kriterien der Bauteilbewertung

Schlussendlich erfolgt eine Bewertung, die einen Vergleich verschiedener Bauteile zueinander ermöglicht. Dabei lässt sich aus der Analyse erschließen, welche Bauteile technisch und wirtschaftlich am ehesten von der additiven Fertigungstechnologie profitieren. Dabei wird stets das noch nicht ausgeschöpfte Potenzial eines Bauteils analysiert. Ist ein Bauteil bereits additiv optimiert, so ist ein geringes Potenzial zu erwarten.

## Technisches Potenzial

Das technische Potenzial umfasst eine Machbarkeitsanalyse und eine Bewertung der aus technischer Sicht kritischen Bauteilanforderungen. Hierfür wird ein Punktwert, basierend auf den ermittelten Bauteilkriterien, ermittelt. So steigt beispielsweise der Punktwert des technischen Potenzials, wenn an die Bauteiloberfläche keine Ansprüche gestellt werden, da somit auch additive Verfahrenstechniken mit rauer Oberfläche genutzt werden können. Im Gegenzug sinkt das technische Potenzial, wenn für ein Kunststoffbauteil eine hohe Dauereinsatztemperatur gefordert ist, da die Materialauswahl stark eingeschränkt wird.

Eine detaillierte Übersicht notwendiger Eingaben ist in Bild 17 aufgeführt. Je Kriterium ist genau eine Eingabe möglich, wobei aus vorgefertigten Inhalten ausgewählt wird. Einzig für die Angabe der Bauteildimensionen sind numerische Werte einzutragen.

Kriterium	Inhalt
<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimension</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abmaß 1 (numerische Eingabe)</li><li>• Abmaß 2 (numerische Eingabe)</li><li>• Abmaß 3 (numerische Eingabe)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Material</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aluminiumlegierung</li><li>• anderes Metall</li><li>• Hochtemperatur-Kunststoff</li><li>• Nicht-Hochtemperatur-Kunststoff</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Qualität</li></ul>	-
<ul style="list-style-type: none"><li>• Oberflächenbeschaffenheit</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• fein (<math>R_{\max} &lt; 12,5</math>)</li><li>• mittel (<math>12,5 &lt; R_{\max} &lt; 30</math>)</li><li>• grob (<math>30 &lt; R_{\max}</math>)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• mechanische Belastung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• niedrig</li><li>• mittel</li><li>• hoch</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Brandschutz nach DIN EN 45545</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• erforderlich</li><li>• nicht erforderlich</li></ul>

Bild 17: Kriterien des technischen Potenzials

Das Kriterium des Brandschutzes nach DIN EN 45545 dient beispielhaft als Darstellung zertifizierungsrelevanter Anforderungen. Neben verschiedenen Brandschutzanforderungen kann das System z. B. auch um medizinische oder lebensmittelverträgliche Anforderungen erweitert werden.

### Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial setzt sich aus einer Vielzahl an Parametern zusammen, die Kosten, Zeit und wertsteigernde Elemente umfassen. Es dient der Abschätzung, ob das zu untersuchende Bauteil mit der additiven Fertigung kostengünstiger oder in einer kürzeren Zeitspanne produziert werden kann als mit einer konventionellen Fertigung. Ebenfalls findet eine Abschätzung statt, ob das Bauteil z. B. durch geometrische Anpassungen einen deutlichen Vorteil gegenüber dem konventionellen Bauteil erlangt. Da diese wertsteigernden Kriterien stets den Fertigungskosten und der Fertigungszeit gegenüberzustellen sind, werden sie dem wirtschaftlichen Potenzial zugeschrieben.

In Bild 18 (s. 41 f.) sind die notwendigen Eingaben für die Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials aufgeführt. Mit der optionalen Angabe der Bauteiloberfläche kann die Ergebnisgüte verbessert werden. Für die wertsteigernden Elemente sind eine Abschätzung des bislang nicht ausgeschöpften Potenzials und der jeweilige Nutzen für dieses Bauteil zu bewerten.

Kriterium	Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederbeschaffung               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederbeschaffungskosten</li> <li>• Wiederbeschaffungszeit</li> </ul> </li> </ul>	- <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschaffungspreis (numerische Eingabe)</li> <li>• Beschaffungszeit (numerische Eingabe)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen &amp; Oberfläche               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauteilvolumen</li> <li>• Bauteiloberfläche (optional)</li> </ul> </li> </ul>	- <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauteilvolumen</li> <li>• Bauteiloberfläche (optional)</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauteil- dringlichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauteil- komplexität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wertsteigerung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integral- bauweise</li> </ul> </li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenzial: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leichtbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenzial: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktions-integration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenzial: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gering</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul> </li> </ul>

Bild 18: Kriterien des wirtschaftlichen Potenzials

Wie auch bei der Bewertung des technischen Potenzials, wird beim wirtschaftlichen Potenzial ein Punktwert aus den Eingaben der Einzelkriterien gebildet. Jedes Einzelkriterium kann einen Punktwert zwischen 0 und 100 annehmen. Aus den Punktwerten der Einzelkriterien wird die Gesamtbewertung des wirtschaftlichen Potenzials gebildet, indem die Einzelwerte gewichtet addiert werden. Das wirtschaftliche Potenzial erreicht somit ebenfalls einen Punktwert zwischen 0 und 100.

### Bewertungsergebnis

Der erreichte Punktwert des wirtschaftlichen und technischen Potenzials kann Werte zwischen 0 und 100 annehmen. Das Ergebnis jedes Bauteils kann grafisch aufgetragen werden (s. Bild 19, S. 43), sodass Bauteile miteinander einfach zu vergleichen und einzuordnen sind. Die Visualisierung des Vergleichs mehrerer Bauteile ermöglicht eine einfache Einordnung, welche Bauteile im weiteren Verlauf am ehesten für die additive



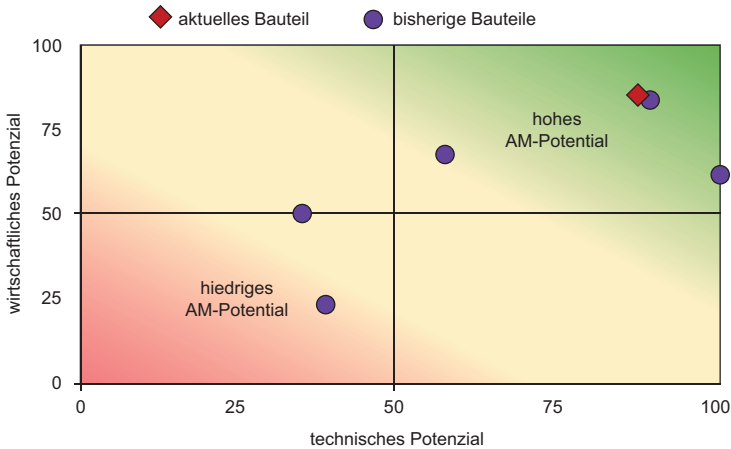


Bild 19: Beispielhafte Auswertung des additiven Potenzials eines Bauteils und Vergleich mit weiteren Bauteilen (eigene Darstellung)

Fertigung bedacht werden sollten, und bei welchen Bauteilen dies nicht der Fall ist. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Bauteile nicht anhand der wirtschaftlichen und technischen Potenziale, sondern hinsichtlich der Beschaffungszeit und -kosten im Vergleich zur konventionellen Beschaffung auszuwerten. Somit kann auf leicht verständliche Weise der Nutzen der additiven Fertigung im Hinblick auf besonders relevante Parameter des Einkaufs eingeschätzt werden. Dazu wird je Bauteil das Verhältnis der AM-Kosten und konventionellen Beschaffungskosten gegenüber dem Verhältnis der AM-Zeit und der konventionellen Beschaffungszeit dargestellt. Dies ist möglich, da im Bewertungsprozess eine einfache Form einer AM-Kostenabschätzung des additiv zu fertigenden Bauteils vorgenommen wird. Die Abschätzung der Kosten für das additive Bauteil erfolgt zwar materialabhängig, kann jedoch nur als eine sehr grobe Annäherung an den tatsächlichen Bauteilpreis genutzt werden.

## C.2 Bewertungskonzept für 3D-Druck-Produzenten

*Olaf Steinmeier, Yannick Löw, Ruben Meuth, Juan Miquel Diaz del Castillo (IAPT)*

In industriellen Produktionsabläufen findet die Fertigungsprozessplanung im Rahmen der Arbeitsvorbereitung statt. Die Aufgabe dieser Instanz besteht darin, die Bauteilanforderungen in eine Prozesskette umzusetzen, sodass die gewünschten Eigenschaften eines Bauteils durch den Ablauf einzelner, aufeinander folgender Fertigungsschritte erzielt werden können. Die 3Dsupply-Szenarien beinhalten nun

die Möglichkeit, dass der wesentliche Schritt innerhalb der Prozesskette nach dem additiven Herstellprinzip vollzogen wird. Sind die Machbarkeit der additiven Fertigung einer Komponente und auch deren wirtschaftliche Sinnhaftigkeit grundsätzlich gegeben, muss der Fertigungsplaner ein geeignetes 3D-Druckverfahren auswählen, das den Anforderungen gerecht wird. Als wichtigste Kriterien gelten das Material, die Bauteilabmessungen sowie die notwendige Genauigkeit des Herstellverfahrens. Da die Anzahl der druckbaren Werkstoffe begrenzt ist und zudem der Bauraum der für ein Verfahren verfügbaren Anlage die maximale Bauteilgröße bestimmt, unterliegt die Prozessauswahl Restriktionen, die über die Machbarkeit der additiven Fertigung einer Komponente entscheiden. Im Hinblick auf die Genauigkeit des Druckverfahrens ist dabei zu berücksichtigen, dass das Endergebnis auch durch nachgeschaltete konventionelle Fertigungsprozesse (Post-Processing) verbessert werden kann, sodass für die Maßhaltigkeit der Bauteilgeometrie nicht nur das AM-Verfahren, sondern die gesamte Prozesskette verantwortlich ist.

Für die Zuordnung einer geeigneten AM-Prozesskette zu einem Bauteil wird in der Regel Expertenwissen benötigt, das in aktuellen Konstellationen von AM-Nachfragern und AM-Anbietern nur auf Seiten der Produzenten und dort überwiegend personengebunden vorhanden ist. Die AM-Technologie ist bisher im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung wie dem Fräsen oder Gießen wenig verbreitet, sodass sich Prozess Erfahrung und -verständnis selektiv nur in der AM-Branche konzentrieren. Einkäufer von Ersatzteilen oder Logistikdienstleister, die meist keine AM-Spezialisten sind, benötigen eine Hilfestellung, wenn sie die Entscheidung über den Einsatz additiver Fertigungsmethoden sowie deren Auswahl selbständig treffen sollen. Das Modell der Versorgungsstruktur, wie sie im Projekt 3Dsupply erforscht wird, nutzt eine Wissensdatenbank (engl. *Knowledge Base*), um Prozess-Know-how personenunabhängig zu sammeln und den Entscheidungsträgern verfügbar zu machen. Diese Datenbank enthält die Leistungsmerkmale der verschiedenen AM-Verfahren sowie einen Pool registrierter Produzenten, die additive Fertigung oder konventionelle (Nach-) Bearbeitung anbieten. In den 3Dsupply-Szenarien unterstützt eine neu entwickelte Softwarelösung, die auf in der Datenbank abgelegtes Wissen zugreifen kann, das Matching-Verfahren, d. h. die Auswahl der erforderlichen Prozesskette und der möglichen Produktionsdienstleister, bezogen auf ein konkretes Bauteil.

Die Softwarelösung weist im Ergebnis eine Liste von Produzenten aus, die zur Umsetzung der Bearbeitungsaufgaben infrage kommen, unter der Voraussetzung, dass eine Realisierbarkeit existiert. Dabei bildet die notwendige AM-Prozesskette das Hauptkriterium zur Bestimmung geeigneter Produzenten. Sie sollte den Standard nach DIN SPEC 17071 erfüllen. Zentraler Bestandteil der AM-Prozesskette ist demnach die Prozessführung der additiven Fertigung, von der die vor- und nachgeschalteten Prozessschritte abhängig sind (siehe Bild 20, S. 45).

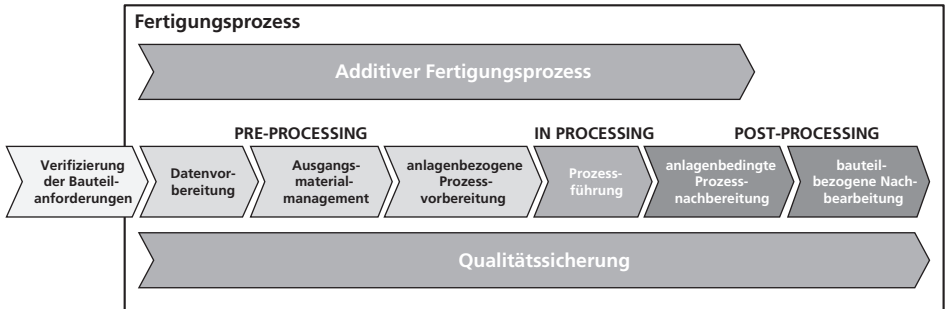


Bild 20: AM-Prozesskette nach DIN SPEC 17071

Der Fertigungsprozess beginnt mit der Datenvorbereitung. Sie umfasst eine Prüfung der Bauteildaten auf Vollständigkeit und Fehlerfreiheit, die Positionierung des Bauteils im Bauraum der 3D-Druckanlage, das Anbringen von Supportstrukturen, die Zerlegung des Bauteils in einzelne Schichten (engl. *Slicen*) sowie die orts- und zeitaufgelöste Zuweisung der Maschinenparameter für den gesamten Baujob. Das zweite Glied in der Vorbereitung einer AM-Prozesskette bildet das Ausgangsmaterialmanagement, dessen Aufgabe die Bereitstellung von 3D-Druck-Material in Form von Pulver, Draht oder Filament ist. Im Anschluss an eine Eingangskontrolle müssen eine ordnungsgemäße Lagerung des Materials, bei Bedarf eine Aufbereitung (z. B. Trocknung von Pulver) und der Transport zur Anlage erfolgen. Daraufhin sichert die anlagenbezogene Prozessvorbereitung die Materialbestückung und die Prüfung der Betriebsbereitschaft des 3D-Druckers. Verschleißteile der Anlage sind gegebenenfalls in diesem Zusammenhang zu wechseln. Die Prozessführung dient dem schichtweisen Aufbau der Komponenten. In der Startphase werden je nach Verfahren zunächst Bauraum, Bauuntergrund und/oder Druckkopf vorgeheizt. Außerdem benötigen Metalle zumeist die Erzeugung einer Schutzgasatmosphäre, bevor der Druckvorgang beginnt. Der Aufbauprozess selbst kann anhand von Sensordaten überwacht werden, sodass notfalls auch Prozesseingriffe möglich sind. Abschließend erfolgt die Abkühlphase für die Bauteile bzw. die Baukammer.

Als anlagenbezogene Prozessnachbereitung bezeichnet die DIN SPEC 17071 die Entnahme der Bauteile aus dem Bauraum der Anlage nach dem 3D-Druck-Prozess, den Umgang mit überschüssigem Material (Recycling) sowie das Reinigen der Anlage. Die bauteilbezogene Nachbearbeitung besteht grundsätzlich aus obligatorischen und optionalen Prozessschritten. Während das Trennen der Bauteile vom Bauuntergrund sowie das Entfernen der Supportstrukturen und Materialreste vom Bauteil prinzipiell

unverzichtbar sind, hängt die weitere Nachbearbeitung von der Bauteilspezifikation im Einzelfall ab. Optionen für das Post-Processing sind eine Wärmebehandlung zum Abbau von Eigenspannungen oder zur Verbesserung der mechanischen Bauteileigenschaften sowie eine Oberflächennachbearbeitung, um beispielsweise an Funktionsflächen des Bauteils besondere Anforderungen hinsichtlich der Oberflächenqualität zu erfüllen. Für diese Nachbearbeitung können strahlende oder spanende Verfahren wie Fräsen oder Schleifen eingesetzt werden. Additive Herstellverfahren mit vergleichsweise geringer Auflösung wie z. B. das ‚Welding Arc Additive Manufacturing (WAAM)-Verfahren‘ bewirken fast immer zwangsläufig die Notwendigkeit einer spanenden Nachbearbeitung, damit die Endkontur des gedruckten Bauteils erzeugt werden kann.

Die Qualitätssicherung der additiven Fertigung erfolgt begleitend über die gesamte Prozesskette hinweg. Neben der sensorischen Überwachung der Prozessstabilität eignen sich Fertigungsbegleitproben zur Analyse und als Indikator für die resultierenden Materialeigenschaften. Die Probekörper für Zugversuche oder Dichtewürfel werden zerstörend geprüft und liefern eine Aussage über die Bauteilqualität, da die Proben im selben Prozess und in unmittelbarer Nähe zum Werkstück entstehen.

Abgesehen vom Prozessangebot wird die Auswahl der Produzenten durch die Berücksichtigung zusätzlicher Kriterien beeinflusst und dabei optimiert. Im Idealfall wird die gesamte notwendige Prozesskette für ein Bauteil von nur einem Produzenten abgebildet. Eine kurze Lieferkette steigert deren Robustheit und senkt den Transportaufwand, insbesondere auch im Hinblick auf eine klimafreundliche Ersatzteilversorgung. Die additive Fertigung begünstigt das Prinzip der dezentralen Produktion, sodass die Herstellung eines Ersatzteils möglichst in der Nähe des Einsatzortes erfolgt. Da die additive Fertigung zudem als besonders materialeffizient gilt, lässt sich der Materialfluss in der Versorgungsstruktur teilweise durch Informationsfluss ersetzen und auf ein Mindestmaß begrenzen, um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Bauteils zu verringern. Muss die Gesamtprozesskette auf mehrere Produzenten aufgeteilt werden, beispielsweise, weil zur Wärmebehandlung oder Oberflächennachbearbeitung von Komponenten gesonderte Spezialisten nötig sind, verlängert sich hingegen die Lieferkette und das Transportaufkommen steigt.

In der Gesamtbetrachtung wird die Bewertung der Produzenten bzw. deren Dienstleistung nach den klassischen Kriterien *Qualität*, *Zeit* und *Kosten* vorgenommen (s. Bild 21, S. 49). Zusätzlich bezieht das Bewertungsmodell die Effizienz als Faktor mit ein, der ökologische Aspekte und somit zumindest einen Teil der sogenannten externen Kosten berücksichtigt. Die einzelnen Kriterien sind entweder produktions- oder logistikbezogen und in der Regel nicht voneinander unabhängig, sondern von Wechselwirkungen gekennzeichnet. Für Ersatzteile im Obsoleszenzfall ist meist die Durchlaufzeit bzw. die Lieferzeit von entscheidender Bedeutung, insbesondere, wenn die frühere Verfügbarkeit

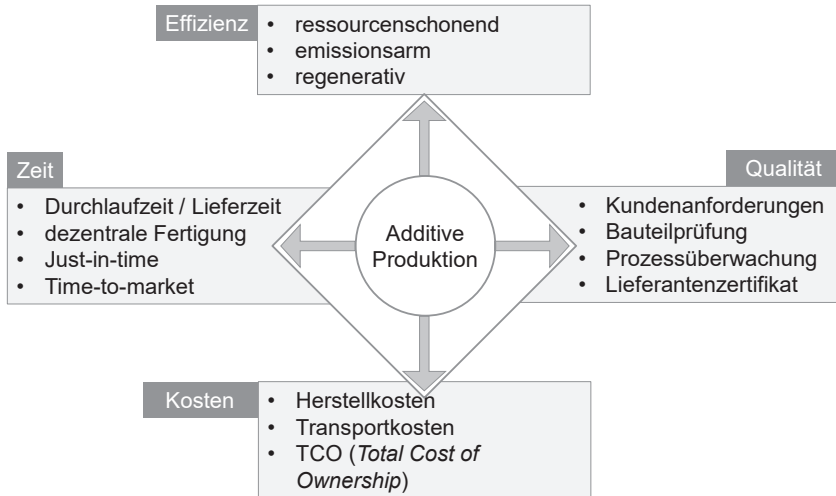


Bild 21: Bewertungskriterien Qualität, Zeit, Kosten und Effizienz (eigene Darstellung)

einer Komponente Stillstandszeiten eines Gesamtsystems reduziert. Eine deutlich verkürzte Lieferzeit kann ausnahmsweise sogar den Verzicht auf Qualität rechtfertigen, wie 3D-gedruckte „Homecomer“ belegen, die nur für eine eng begrenzte Lebensdauer die Funktion des Originalbauteils übernehmen sollen.

Im Allgemeinen jedoch unterliegen die additiv gefertigten Bauteile ebenso hohen Qualitätsanforderungen wie konventionell hergestellte Komponenten. Der Produzent kann den Qualitätsnachweis je nach Vorgabe anhand von Bauteilprüfungen, der Analyse von Probekörpern oder mittels Überwachung und Demonstration der Prozessqualität erbringen. Häufig verlangt der Auftraggeber zusätzlich ein Produzenten-/Lieferantenzertifikat, sodass die Auswahl auf Zertifikatsinhaber limitiert wird. Weitere Bewertungskriterien für Produzenten sind Liefertreue und Kundenzufriedenheit. Diese Attribute lassen sich beispielsweise mithilfe einer Punktebewertung für Produzenten erfassen, die dann auf einem Konto geführt und zur Gesamtbeurteilung herangezogen werden können.

Letztlich findet die Bewertung der Produzenten aber immer unter Kostengesichtspunkten statt. Die Herstellkosten für ein Bauteil, die aus der Prozesskette resultieren, bilden dabei allerdings nur einen Bruchteil der Gesamtkosten. Auch die genannten Kriterien von Zeit, Qualität und Effizienz lassen sich bei entsprechender Kenntnis der Zusammenhänge in

Kostenfaktoren umrechnen, sodass im Zweifelsfall nur ein *Total Cost of Ownership*(TCO)-Ansatz einen realistischen Vergleich der Dienstleistungsangebote bietet und eine exakte Bewertungsgrundlage zur Produzentenauswahl liefert.

### C.3 Qualitätssicherungskonzept

*Olaf Steinmeier, Yannick Löw, Ruben Meuth, Juan Miquel Diaz del Castillo (IAPT)*

Um den Logistikdienstleister in die Lage zu versetzen, einen Qualitätsnachweis gegenüber dem Auftraggeber erbringen zu können, wird ein Qualitätssicherungskonzept entwickelt. In einem ersten Schritt werden die relevanten Prozessfehler, die bei der Herstellung von 3D-gedruckten Ersatzteilen auftreten können, analysiert und aufgelistet. Die potenziellen Prozessfehler werden bezüglich der Kriterien *Schweregrad* (Auswirkungen des Defektes), *Vorkommen* (Wahrscheinlichkeit des Auftretens) und *Erkennbarkeit* (Schwierigkeit einen Fehler zu erkennen) mittels einer Befragung von Fertigungsingenieuren mit einem Punktesystem (1 – 10 Punkte) bewertet. Aus dem Produkt der Mittelwerte dieser Kriterien wird die Risikoprioritätszahl (RPN) für jeden Prozessfehler gebildet. Eine Liste der Fehlerarten sowie die dazugehörigen Bewertungen sind in Bild 22 zu finden.

Defekt	Schwere	Vorkommen	Erkennbarkeit	RPN
Anbindungsfehler bedingte Porosität	8,8	7,1	6,1	378
Gasporen	7,8	8,4	7,0	458
Oberflächenrauigkeit	4,7	7,0	5,0	162
Oberflächenoxidation	5,2	3,2	4,9	162
Deformation	7,9	5,9	4,3	162
geometrische Genauigkeit	7,1	5,5	4,3	162
Schichtverschiebung	7,5	2,5	3,5	162
Rissbildung	8,9	4,1	5,6	202
Delamination	9,3	3,0	3,8	105

Bild 22: Fehlerarten, Bewertung (gemittelt) und Risikoprioritätszahlen

Anbindungsfehler und Gasporen stellen das größte Risiko für 3D-gedruckte Ersatzteile dar. Mit dem kommerziell verfügbaren Prozess-Überwachungssystem PrintRite3D der Firma SigmaLabs können diese Defekte erkannt werden. Das System verwendet drei axial angebrachte Fotodioden, um die Intensität der Emissionen des Prozesses zu messen. Als Ausgabe werden vier proprietäre Qualitätskennzahlen erzeugt, die zur Charakterisierung des Prozesses verwendet werden können:

- *Thermal Emission Density (TED) / TED Sigma*: TED basiert auf den Prozessparametern und der entsprechenden Materialreaktion. TED Sigma beschreibt die Standardabweichung des TED-Wertes.
- *Thermal Emission Plank (TEP) / TEP Sigma*: TEP basiert auf der Lichtintensität des Schmelzbades. TEP Sigma beschreibt die Standardabweichung des TEP-Wertes.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Ansatzes ist die Maschinenunabhängigkeit, wodurch das Qualitätssicherungskonzept übertragbar und allgemein anwendbar ist.

Die Metriken des PrintRite3D-Systems werden mit mehreren Probekörpern in der Maschine getestet, um Grenzwerte eines fehlerfreien Prozessfensters bestimmen zu können. Bild 23 zeigt ein Beispiel, das zur Bestimmung des Prozessfensters von Ti6Al4V verwendet werden kann. An einem Ende des Prozessfensters sind Gasporen zu sehen und am anderen Ende mangelnde Verschmelzung.

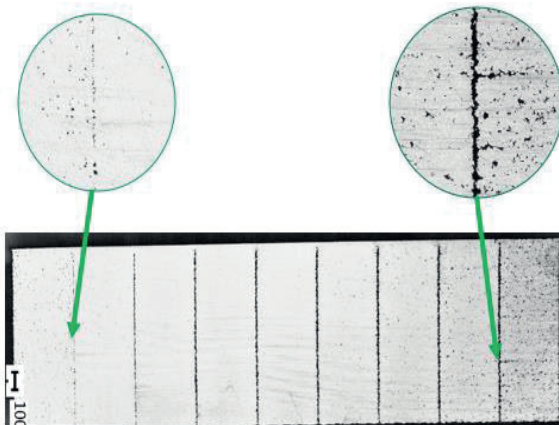


Bild 23: Probe mit Gasporen (links) und Anbindungsfehlern (rechts) (eigene Darstellung)

Nachdem die Grenzwerte für die Metriken TED, TED Sigma sowie TEP und TEP Sigma festgelegt sind, werden mehrere Testproben zur Provokation von Defekten gefertigt. Dies dient zum Testen der Fehlererkennungsfähigkeit des Systems und der in den vorangegangenen Tests definierten Grenzen. Bild 24 zeigt die Punktwolke einer zylindrischen Probe mit künstlichen Poren (rot). Zu Testzwecken wurden lokale Überhitzungen absichtlich herbeigeführt. Porengrößen ab 40 µm können vom System erkannt werden.

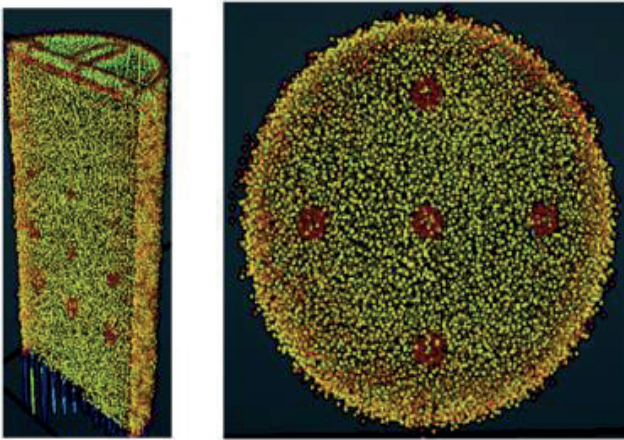


Bild 24: Prozessaufnahme einer zylindrischen Probe (eigene Darstellung)

Weitere Entwicklungen führen zur Erstellung von Probekörpern mit praxisrelevanten Defektursachen. Überhitzungen an den Extrempunkten der Scan-Vektoren, wie sie z. B. am äußeren Rand einer Bauteilstruktur auftreten können, sind eine häufige Ursache von Gasporosität. Verunreinigungen bzw. Spratzer aus dem Schmelzbad können hingegen zur Entstehung von Anbindungsfehlern führen. Es wurde festgestellt, dass die TED- und TED-Sigma-Metriken wirksam sind, um diejenigen Prozessanomalien zu erkennen, die Gasporosität verursachen. Bild 25 (s. S. 53) zeigt, dass die mittels TED-Metrik angezeigten Prozessanomalien mit den Gasporen in der metallographischen Analyse korrelieren.



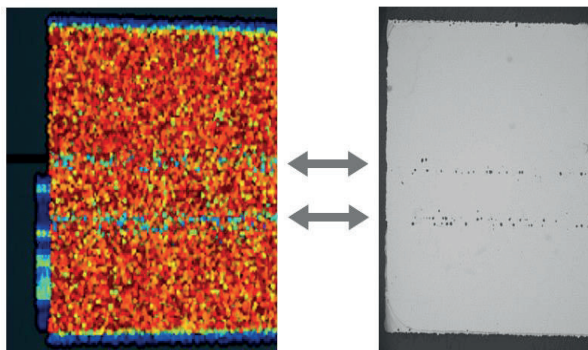


Bild 25: TED-Metrik und metallographische Analyse eines Probekörpers (rechts)  
(eigene Darstellung)

Porositäten aufgrund von Anbindungsfehlern, die auf eine Verunreinigung des Pulverbettes zurückzuführen sind, können anhand der Schwankungen des TEP-Wertes bzw. der TEP-Sigma-Werte, identifiziert werden. Bild 26 verdeutlicht diesen Zusammenhang: In Probenbereichen mit verunreinigtem Pulverbett sind hohe Schwankungen der TEP-Werte festzustellen, die wiederum mit der Porosität in dem Schliffbild des Probekörpers korrelieren.

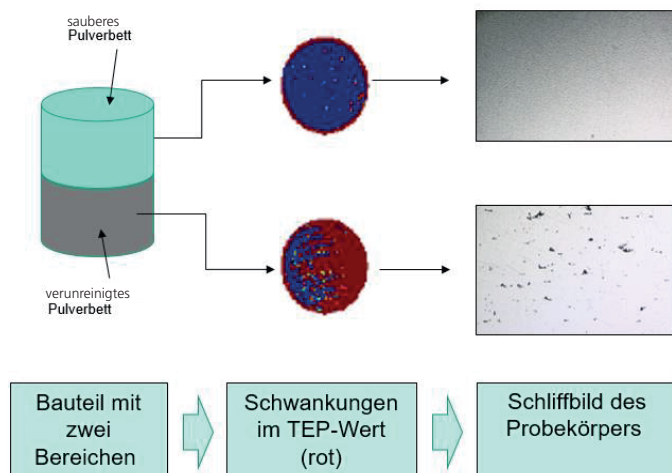


Bild 26: TEP-Wert als Indikator für Verunreinigungen im Pulverbett (eigene Darstellung)

Die Anwendbarkeit des Qualitätssicherungskonzepts bei einfachen Geometrien ist somit nachgewiesen. Die finale Validierung erfolgt nun anhand einer komplexeren, anwendungsnahen Geometrie, wie in Bild 27 dargestellt. Auf der QS-Schichtaufnahme sind überhitzte Bereiche zu erkennen, die auf Streifenüberlappungen der Scanvektoren zurückzuführen sind. Diese Prozessanomalien führen zu einer hohen Porosität in dem Bauteil.

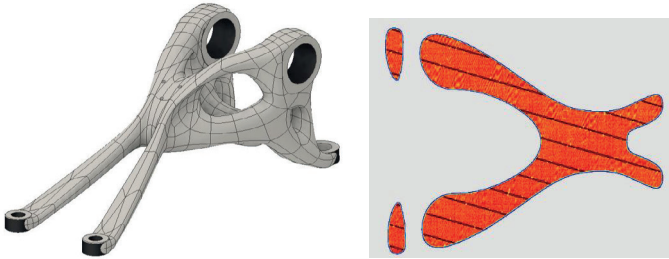


Bild 27: Probengeometrie und QS-Schichtaufnahme des Prozesses (eigene Darstellung)

Um die Gültigkeit des während des Projekts entwickelten Konzepts zur Qualitätssicherung zu überprüfen, wird die komplexe Probe einer  $\mu$ CT-Analyse unterzogen und die Porosität des Bauteils bestimmt. Bild 28 zeigt die vom Prozessüberwachungssystem erhaltenen 3D-Daten (links) und den  $\mu$ CT-Scan des gefertigten Bauteils, wobei einige Bereiche mit hoher Porosität hervorgehoben wurden. Mithilfe des Prozessüberwachungssystems können die kritischen Bereiche hoher Porosität entsprechend dem  $\mu$ CT-Scan identifiziert werden, was die Gültigkeit der Methode und des QS-Konzepts bestätigt.

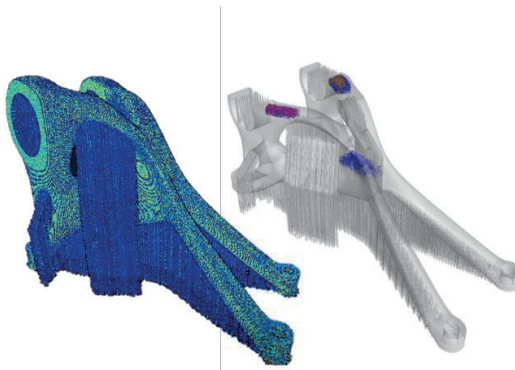


Bild 28: QS-Aufnahme und  $\mu$ CT-Analyse der Probengeometrie (eigene Darstellung)

## D. MODELLIERUNG EINER DEZENTRALEN VERSORGUNGSSTRUKTUR

Die Ersatzteillogistik stellt sicher, dass die benötigten Ersatzteile zur Wartung und/oder Reparatur von Werken, Ausrüstung und Endprodukten dem Ersatzteilnachfrager in der benötigten Menge, Art und Qualität zur richtigen Zeit und so kostengünstig wie möglich zur Verfügung gestellt werden (s. HUTH u. GOELE 2013, S. II). Aufgrund des in Kapitel A.3 aufgeführten Forschungsbedarfs hinsichtlich des Einflusses der additiven Fertigung auf die Ersatzteillogistik werden im Folgenden die Rollen und Aufgaben im Ersatzteilserviceprozess beschrieben. Darauf aufbauend werden logistische Supply-Chain-Szenarien entwickelt, in welchen der LDL verschiedene Rollen in einer definierten Aufgabenkette einnehmen kann.

### D.1 Rollenbeschreibung der involvierten Szenario-Akteure

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Zur detaillierten Beschreibung des Rollenkonzepts im Ersatzteilserviceprozess wird das in Bild 29 (s. S. 56) dargestellte Supply-Chain-Konzept verwendet. Neben dem Kunden gehören der AM-Entscheider, der digitale Distributor, der Verantwortliche für die Produzentenauswahl, der AM-Dienstleister sowie der Transporteur der Ersatzteile zu den funktionellen Rollen in dem Konzept des Ersatzteilserviceprozesses.

In dem Supply-Chain-Konzept wendet sich der Kunde, nachdem der Ersatzteilbedarf entstanden ist, an den AM-Entscheider. Dieser berät den Kunden bezüglich der Vorteilhaftigkeit additiver oder konventioneller Fertigung des gewünschten Ersatzteils. Der digitale Distributor ist für die sichere Übertragung der Bauteil- und Konstruktionsdaten, wie beispielsweise CAD-Daten, verantwortlich. Anhand der bereitgestellten Daten und des Urteils des AM-Entscheidungers wählt der Verantwortliche für die Produzentenauswahl einen geeigneten Produzenten aus. Falls die Entscheidung des AM-Entscheidungers gegen eine additive Fertigung des Ersatzteils ausfällt, findet die Auswahl eines konventionell fertigenden Produzenten statt. Dies wird aufgrund der fehlenden thematischen Relevanz allerdings im weiteren Verlauf nicht detaillierter betrachtet. Im Anschluss an die Auswahl eines geeigneten AM-Dienstleisters stellt die Rolle des digitalen Distributors dem AM-Dienstleister die Bauteil- und Konstruktionsdaten zur Verfügung. Basierend auf den bereitgestellten CAD-Daten fertigt der AM-Dienstleister das Ersatzteil, welches der Transporteur im Anschluss zum Kunden transportiert.

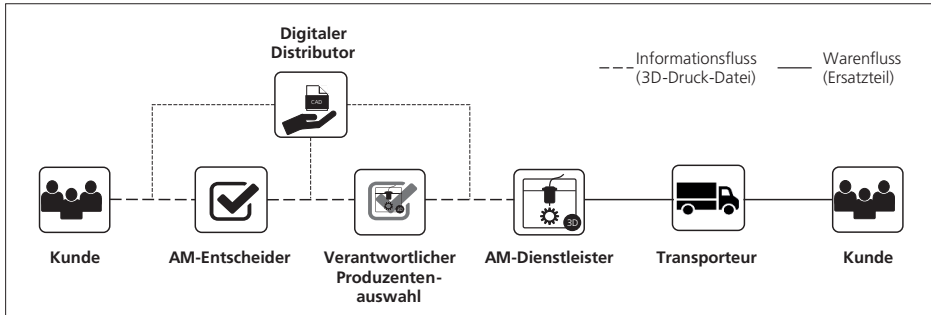


Bild 29: Grundlegende Wertschöpfungskette für additiv hergestellte Ersatzteile  
(PAUSE u. MAREK 2019, S. 55)

Die einzelnen funktionellen Rollen, welche Supply-Chain-Akteure innerhalb des Ersatzteilserviceprozesses im Kontext der additiven Fertigung einnehmen können, werden im Folgenden detailliert beschrieben.

### D.1.1 Kunde

Sobald der Kunde Bedarf an der Ersatzteilbereitstellung hat und grundsätzlich auch eine additive Fertigung des Ersatzteils denkbar ist, löst er den Ersatzteilserviceprozess durch die Ersatzteilbestellung aus. Dazu formuliert er die Anforderungen an das benötigte Ersatzteil und übermittelt die Bauteil- und Konstruktionsdaten, wenn sie in seinem Besitz sind, mithilfe des digitalen Distributors an den AM-Entscheider. Abschließend empfängt der Kunde das fertiggestellte Ersatzteil. Dabei werden die Nachfrage und die Erwartungen an die Lieferanten bezüglich der Lieferzeit, der Flexibilität und Verfügbarkeit vom Kunden spezifiziert. Der Kunde kann durch eine Privatperson oder ein Unternehmen verkörpert werden.

### D.1.2 Digitaler Distributor

Der digitale Distributor ist für den sicheren Versand der Bauteil- und Konstruktionsdaten innerhalb des Wertschöpfungsnetzes verantwortlich – diese werden beispielsweise in Form von CAD-Daten bereitgestellt. Die Daten werden idealerweise vom Ersatzteilnachfrager zur Verfügung gestellt. Im Zweifel, falls der Ersatzteilnachfrager nicht über die CAD-Datei verfügt, werden die Eigentumsverhältnisse der CAD-Datei mit dem Besitzer geklärt. Nach dem Empfang der Dateien prüft der digitale Distributor die Dateien auf Vollständigkeit und mögliche Fehler. Infolge der Überprüfung werden die Dateien an die relevanten Datenempfänger weitergeleitet. Zu den Datenempfängern gehören der AM-Entscheider, der Verantwortliche für die Produzentenauswahl und der AM-Dienstleister.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Datensicherheit und des Schutzes der *Intellectual Property Rights* (IP-Rechte), verwendet der digitale Distributor aktuelle Verschlüsselungstechnologien, wie beispielsweise Krypto-Verfahren. Des Weiteren stellt der digitale Distributor sicher, dass nur relevante Aspekte der Bauteil- und Konstruktionsdaten der Ersatzteile dem AM-Dienstleister zur Verfügung stehen. Darüber hinaus schränkt der digitale Distributor die zeitliche Nutzbarkeit der Daten ein. Eine Limitierung hinsichtlich der Anzahl an durchführbaren Druckvorgängen führt zusätzlich zur Erhöhung des Schutzes von geistigem Eigentum.

### **D.1.3 AM-Entscheider**

Der AM-Entscheider prüft, ob eine additive Fertigung der vom Kunden benötigten Ersatzteile wirtschaftlich und technisch sinnvoll ist. Er verfügt über Fachwissen bezüglich der Konstruktion und Entwicklung von Bauteilen sowie bezüglich der additiven Fertigung. Für die Bewertung betrachtet der AM-Entscheider verschiedene Bauteilaspekte. Für eine detaillierte Beschreibung der Bewertungsmethode sei an dieser Stelle auf Abschnitt E.3.3 verwiesen, in dem das Datenmodell für die Bauteilvorauswahl konzipiert wird.

Des Weiteren berät der AM-Entscheider den Kunden bezüglich der Potenziale, welche hinsichtlich der Entwicklung, Produktion und Auslieferung von Ersatzteilen durch die Nutzung der additiven Fertigung entstehen.

Für den Fall, dass die additive Fertigung eines Ersatzteils als nicht vorteilhaft eingeschätzt wird, führt der AM-Entscheider in Absprache mit dem AM-Dienstleister eine Re-Design-Analyse des jeweiligen Ersatzteils durch. Dadurch wird überprüft, ob eine additive Fertigung durch ein Re-Design des Bauteils ermöglicht werden kann. Von der entwickelten Softwarelösung in Kapitel E wird dieser Prozessschritt jedoch nicht unterstützt, da für situationsspezifische Entscheidungen in der Regel Expertenwissen erforderlich ist.

Auf Grundlage der Untersuchungen des AM-Entscheidungers erhält der Kunde eine Empfehlung für die additive Fertigung, die konventionelle Fertigung oder ein Re-Design des untersuchten Ersatzteils. In dem Fall, dass der AM-Entscheider ein Re-Design des Ersatzteils empfiehlt, kann der Ersatzteilnachfrager das Re-Design selbst durchführen, wenn er ausreichende Kompetenz besitzt, oder er kann einen externen Kompetenzträger mit dem Re-Design beauftragen.

Nach dem durchgeführten Re-Design kann der AM-Entscheider kontaktiert werden, um die Eignung für die additive Fertigung erneut zu prüfen. In diesem Fall würden sich die vorangegangenen Schritte wiederholen.

## D.1.4 Verantwortlicher für die Produzentenauswahl

Nachdem der Verantwortliche für die Produzentenauswahl die Bauteil- und Konstruktionsdaten sowie die relevanten Bauteilkriterien erhalten hat, liegt es in seiner Verantwortung, anhand der Vorgaben und der Handlungsempfehlung des AM-Entscheidungers einen geeigneten Produzenten auszuwählen. Um dem Verantwortlichen für die Produzentenauswahl die für eine Auswahl nötigen Prozesskriterien bereitzustellen, können Produzenten die Eigenschaften ihrer Fertigungsanlagen per Webzugriff auf die Softwarelösung übermitteln. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle anzumerken, dass in dem Fall einer Entscheidung des AM-Entscheidungers gegen die additive Fertigung des Ersatzteils die Wahl eines konventionell fertigenden Produzenten im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nicht betrachtet wird.

Die Auswahl des AM-Dienstleisters erfolgt durch ein Matching-Verfahren. Hierbei nimmt der Verantwortliche für die Produzentenauswahl die relevanten Bauteilkriterien zunächst mithilfe eines systematischen Ansatzes auf. Im Anschluss daran findet der Vergleich mit den vom potenziellen AM-Dienstleister hinterlegten Prozesskriterien statt. Zudem werden die Kosten für die additive Herstellung des Ersatzteils auf Basis einer zugrundeliegenden mathematischen Formel abgeschätzt.

Dem Kunden wird im Anschluss an das Matching-Verfahren und die Kostenabschätzung eine Liste mit Produzenten bereitgestellt. Die dort aufgeführten Produzenten sind grundsätzlich in der Lage, das gewünschte Bauteil entsprechend den Bauteilkriterien zu fertigen. Auf Basis dieser Liste kann der Kunde anschließend einen AM-Dienstleister selbstständig auswählen. Durch einen entsprechend ausgestalteten Dienstleistungsvertrag könnte auch die Rolle des Verantwortlichen für die Produzentenauswahl die Aufgabe der Auswahl eines konkreten AM-Dienstleisters übernehmen.

## D.1.5 AM-Dienstleister

Der AM-Dienstleister erhält die Bauteil- und Konstruktionsdaten des Ersatzteils in Form der CAD-Daten vom digitalen Distributor, bereitet die Daten für die additive Fertigung auf und stellt das Ersatzteil mittels einer additiven Fertigungsanlage her. Nach der Fertigung des Ersatzteils führt der AM-Dienstleister außerdem die zugehörigen Nachbearbeitungsschritte durch und übergibt das Ersatzteil an den Transporteur.

Damit der AM-Dienstleister im Rahmen der Produzentensuche des Verantwortlichen für die Produzentenauswahl zur Auswahl steht, ist ein vorangehender Upload von Prozesskriterien der vorhandenen additiven Fertigungsanlagen notwendig.

## D.1.6 Transporteur

Die funktionelle Rolle des Transporteurs wird klassischerweise von LDL ausgeführt. In dieser Funktion sind LDL sowohl für die Planung als auch für die Durchführung des Transports und der Auslieferung zuständig. Aufgrund der Erfahrung der LDL mit der Erfüllung dieser Aufgaben können sie auf ihre transporttechnischen Kompetenzen zurückgreifen. Für die Kunden kann die schnelle Lieferung von Ersatzteilen aufgrund von möglichen Produktionsausfällen von enormer wirtschaftlicher Bedeutung sein. Daher ist es im Zusammenhang mit der Ersatzteillogistik vorteilhaft, auch Expressversand bzw. Notfall-Logistik anzubieten.

## D.2 Logistische Supply-Chain-Szenarien für den Logistikdienstleister

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden auf Basis der in Abschnitt D.1 identifizierten Rollen und Aufgaben verschiedene Supply-Chain-Szenarien definiert, welche in diesem Kapitel beleuchtet werden. In jedem der Szenarien spielt der LDL eine andere Rolle in der betrachteten Supply-Chain für additiv hergestellte Ersatzteile. Die sechs nachfolgend beschriebenen Supply-Chain-Szenarien bauen aufeinander auf. Während das Szenario 0 bereits etabliert ist und für den LDL keinen zusätzlichen Kompetenzaufbau erfordert, beinhaltet das Szenario 5 neuartige Dienstleistungen und erfordert daher einen zusätzlichen Aufbau von Know-how. Für LDL ist daher denkbar, zunächst nur ein Szenario anzuwenden und darauf aufbauend das Dienstleistungsspektrum zu einem komplexeren szenarioübergreifenden Konstrukt weiterzuentwickeln.

### D.2.1 Szenario 0: LDL als Transporteur

In Bild 30 (s. S. 57) ist das Basisszenario (Szenario 0) dargestellt. Hierbei übernimmt der LDL als Transporteur sowohl die Planung als auch die Durchführung von Transport- und Lieferaufträgen.

Zur Übernahme der Aufgaben als Transporteur kann der LDL auf bestehende transportspezifische Kompetenzen und bestehende Infrastruktur zurückgreifen. Für die Übernahme aller weiteren funktionellen Rollen im Ersatzteilserviceprozess sind in diesem Szenario verschiedene Varianten denkbar. So könnte beispielsweise der Ersatzteilmachfrager, nachdem der Ersatzteilbedarf entstanden ist, die Entscheidung selbst treffen, ob das Bauteil additiv oder konventionell hergestellt werden soll, oder diese Entscheidung von einem geeigneten Dienstleister treffen lassen. Des Weiteren kann die Auswahl eines AM-Dienstleisters, welcher zur Herstellung des benötigten Ersatzteils

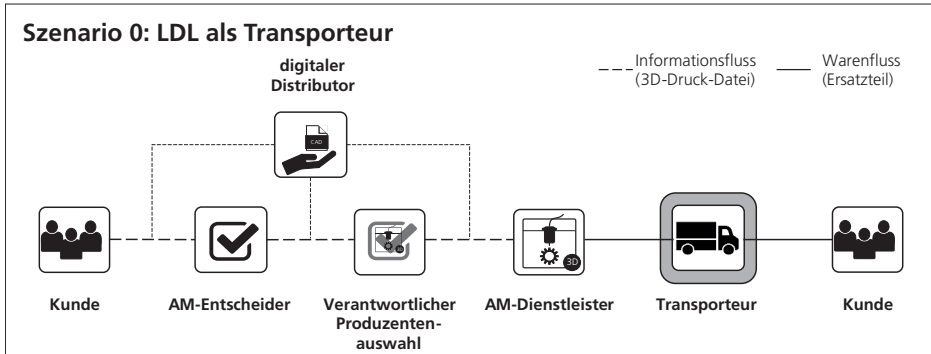


Bild 30: Szenario: 0 LDL als Transporteur (eigene Darstellung)

fähig ist, individuell vom Kunden getroffen werden oder als Dienstleistung von einer dritten Partei angeboten werden. Nach der Entscheidung für einen AM-Dienstleister fertigt dieser das Ersatzteil entsprechend den Anforderungen des Kunden additiv und lässt es vom LDL zum Ersatzteilmachfrager transportieren.

### D.2.2 Szenario 1: LDL als digitaler Distributor

Szenario 1 charakterisiert den LDL als digitalen Distributor (s. Bild 31). Der digitale Distributor ist, wie schon in Kapitel D.1 beschrieben, für den sicheren Transfer der Konstruktions- und Bauteildaten innerhalb der Wertschöpfungskette verantwortlich.

Zur Erfüllung der Aufgaben als digitaler Distributor ist umfassendes Fachwissen im Bereich des Datenmanagements und der Datendistribution erforderlich, damit eine sichere,

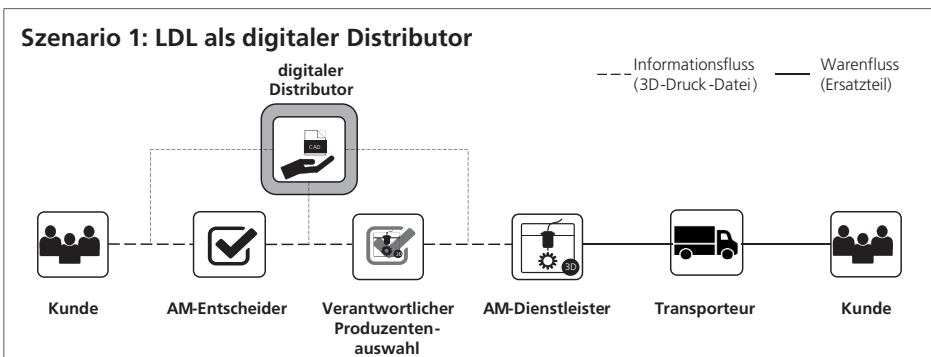


Bild 31: Szenario 1: LDL als digitaler Distributor (eigene Darstellung)



schnelle und zuverlässige Übertragung der Konstruktions- und Bauteildaten gewährleistet werden kann. Unter Datendistribution wird in der vorliegenden Untersuchung die Verteilung der Daten zwischen den Wertschöpfungspartnern verstanden.

In diesem Szenario kontaktiert der Kunde, sobald ein Ersatzteilbedarf entstanden ist, den LDL, damit dieser die Bauteil- und Konstruktionsdaten zum geeigneten Zeitpunkt an den AM-Entscheider, den Verantwortlichen für die Produzentenauswahl und an den AM-Dienstleister überträgt. In Szenario 1 kann die Entscheidung für oder gegen die additive Fertigung des Ersatzteils und die Auswahl eines AM-Dienstleisters vom Kunden selbst oder von Dienstleistern übernommen werden. Der ausgewählte AM-Dienstleister fertigt das gewünschte Ersatzteil, bevor es durch den Transporteur zum Kunden geliefert wird. Die Rolle des Transporteurs kann der LDL aufgrund seiner transporttechnischen Kompetenzen, seiner bestehenden Infrastruktur und seines vorhandenen Logistiknetzwerks in diesem und allen folgenden Szenarien übernehmen.

### D.2.3 Szenario 2: LDL als AM-Entscheider

In Szenario 2 (s. Bild 32) ist der LDL als AM-Entscheider tätig und berät den Kunden in erster Linie bei der Entscheidung, ob ein Ersatzteil additiv oder konventionell hergestellt werden soll.

Wenn die additive Fertigung technisch oder wirtschaftlich zunächst unvorteilhaft erscheint, führt der AM-Entscheider eine Re-Design-Analyse durch. In diesem Schritt überprüft der LDL, ob eine additive Fertigung des Bauteils durch ein Re-Design ermöglicht werden kann. Außerdem berät der LDL in diesem Szenario den Ersatzteilnachfrager bezüglich der Potenziale additiver Fertigung in der Entwicklung, Produktion und Lieferung von Ersatzteilen. Um diese Aufgaben erfüllen zu können,

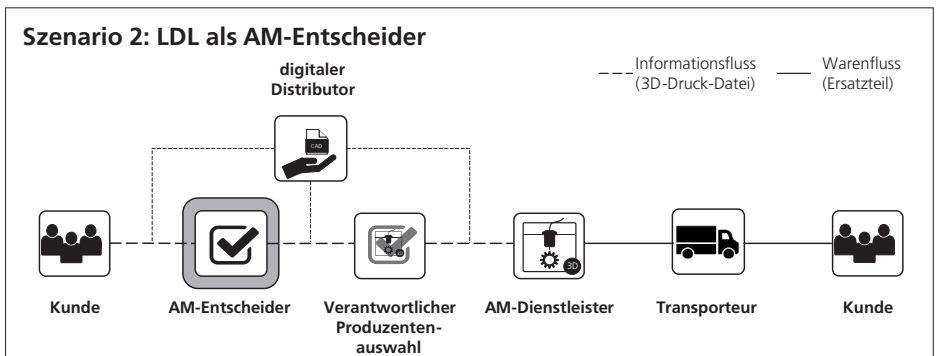


Bild 32: Szenario 2: LDL als AM-Entscheider (eigene Darstellung)

benötigt der LDL spezifische Kenntnisse im Bereich der additiven Fertigung. Zur Schaffung einer Informations- und Entscheidungsgrundlage für eine ersatzteilspezifische Handlungsempfehlung werden die folgenden Aspekte berücksichtigt: Neben der Form, der Größe und der minimalen Wandstärke der Ersatzteile gehören die Wirtschaftlichkeit und die Potenziale, welche sich aus Topologie- und Formoptimierungen ergeben können, zu den Entscheidungskriterien. (s. Kapitel E.3.3)

In diesem Szenario kontaktiert der Ersatzteilmachfrager mithilfe des digitalen Distributors den LDL und stellt ihm die Bauteil- und Konstruktionsdaten zur Verfügung. Es könnte sich für den LDL als vorteilhaft erweisen, dieses Szenario mit dem vorausgegangenem Szenario zu kombinieren, um die Anzahl der Übergabeprozesse in der Wertschöpfungskette zu reduzieren. Dadurch könnte die Wertschöpfungskette schneller durchlaufen und der Ersatzteilmachfrager schneller beliefert werden. Außerdem sinkt mit der Anzahl der Übergabeprozesse die Fehlerauftretswahrscheinlichkeit an Informationsschnittstellen. Auf Basis der Empfehlung des LDLs, welcher als AM-Entscheider agiert, kann die Auswahl eines geeigneten Produzenten vom Kunden selbst oder von einem Dienstleister getroffen werden. Genauso wie in den anderen Szenarien fertigt der AM-Dienstleister, welcher die Bauteil- und Konstruktionsdaten vom digitalen Distributor zur Verfügung gestellt bekommt, das Ersatzteil mithilfe von additiven Fertigungsanlagen, bevor es durch den Transporteur zum Kunden geliefert wird.

#### **D.2.4 Szenario 3: LDL als Verantwortlicher für die Produzentenauswahl**

Szenario 3 ist in Bild 33 (s. S. 61) dargestellt. Es beschreibt den LDL als Verantwortlichen für die Produzentenauswahl. Nach der Übertragung der für die additive Fertigung nötigen Bauteil- und Konstruktionsdaten an den AM-Entscheider und den LDL, wählt der LDL einen AM-Dienstleisters aus.

Zur Produzentenauswahl sammelt der LDL vom Kunden die relevanten Bauteilkriterien und von den AM-Dienstleistern die Prozesskriterien der vorhandenen additiven Fertigungsanlagen. Im Anschluss werden die jeweiligen Kriterien miteinander verglichen, um die Eignung der zur Verfügung stehenden AM-Dienstleister zu prüfen. Dazu nutzt der LDL ein Matching-Verfahren und ein für diesen Einsatzzweck definiertes Bewertungsmodell (s. Kapitel E.3.4). Um die Aufgaben qualifiziert durchführen und das Ergebnis des Matching-Verfahrens bewerten zu können, benötigt der LDL spezifische Kenntnisse im Bereich der additiven Fertigung.

Nachdem der Kunde einen AM-Dienstleister ausgewählt hat oder diese Aufgabe mithilfe eines entsprechend ausgestalteten Dienstleistungsvertrags dem LDL übertragen hat,

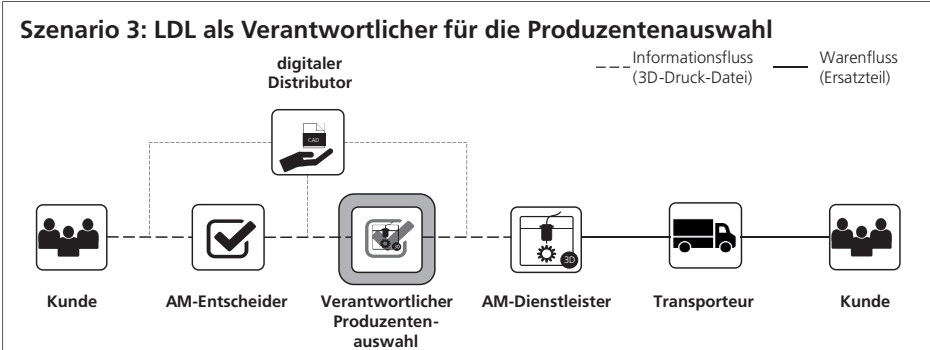


Bild 33: Szenario 3: LDL als Verantwortlicher für die Produzentenauswahl (eigene Darstellung)

fertigt der ausgewählte AM-Dienstleister das Ersatzteil und lässt es anschließend vom Transporteur zum Kunden liefern.

### D.2.5 Szenario 4: LDL als AM-Dienstleister

Szenario 4 charakterisiert den LDL als AM-Dienstleister (s. Bild 34). In dieser Rolle empfängt er die Bauteil- und Konstruktionsdaten vom digitalen Distributor, fertigt das Ersatzteil, führt die nötigen Nachbearbeitungsschritte durch und versendet es an den Kunden.

In dieser funktionellen Rolle muss der LDL Produktions- und Konstruktionskenntnisse im Bereich der additiven Fertigung vorweisen. Zudem verfügt der LDL über eigene Produktionskapazitäten für die additive Fertigung. Damit die Fertigstellung der

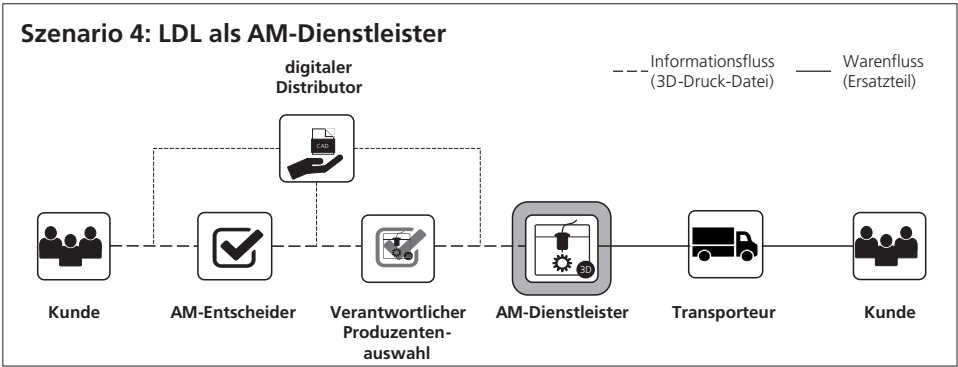


Bild 34: Szenario 4: LDL als AM-Dienstleister (eigene Darstellung)

Bauteile sowohl rechtzeitig als auch in einer zufriedenstellenden Qualität gewährleistet werden kann, muss der LDL die Verfügbarkeit und die Planungszuverlässigkeit sicherstellen, indem er dafür sorgt, dass geeignete additive Fertigungsanlagen in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen. Dementsprechend sind die Investitionen in Szenario 4 vergleichsweise hoch. LDL, die global über zahlreiche Vertriebs- und Lagerstandorte verfügen, haben jedoch gute Voraussetzungen, um durch die Integration von additiven Fertigungsanlagen an ihren Standorten kundenorientierte Produktion anbieten zu können. Dabei kann zwischen einer zentralen und einer dezentralen Produktion unterschieden werden. Die Vor- und Nachteile beider Produktionskonzepte sollten für den individuellen Fall abgewogen werden und liegen nicht im Fokus der vorliegenden Forschungsarbeit. Nach der additiven Fertigung des Ersatzteils wird es direkt an den Ersatzteilnachfrager geliefert. In diesem Szenario hat der AM-Dienstleister außerdem die Möglichkeit, Kernaspekte der Fertigung, wie das Re-Design, die Nachbearbeitung und die Qualitätssicherung, auszulagern.

### **D.2.6 Szenario 5: LDL als Bestandsmanager**

In Szenario 5 übernimmt der LDL die Rolle des Bestandsmanagers, der dem Kunden einen sogenannten „Full-Supply-Service“ anbietet (s. Bild 35, S. 65). In diesem Zusammenhang wird unter dem Begriff „Full-Supply-Service“ die kontinuierliche Regelung der Bestände nach vorher vereinbarten Konditionen unter Berücksichtigung des Potenzials der additiven Fertigung verstanden. Dabei übernimmt der LDL neben der Verantwortung für die Lagerhaltung auch die Verantwortung für die Ersatzteilbeschaffung. Zur Erbringung des „Full-Supply-Service“ benötigt der LDL aktuelle und korrekte Bestands- und Verbrauchsdaten, eine möglichst konkrete Bedarfsprognose und eine vorausschauende Planung von Verkaufsfaktionen, um Spitzenbedarfe auffangen zu können. Zudem muss der LDL, um die Rolle des Bestandsmanagers übernehmen zu können, Analysekompetenz im Bereich der Ersatzteildisposition aufweisen. Zur Umsetzung des „Full-Supply-Service“ im Bereich der additiven Fertigung von Ersatzteilen bietet sich ein Vendor-Managed-Inventory (VMI)-System an. (s. PAUSE ET AL. 2019, S. 33 – 35)

Bei dem VMI-System ist es grundsätzlich die Aufgabe des Lieferanten, den Lagerbestand innerhalb vereinbarter Ober- und Untergrenzen zu halten. Dabei bestimmt der Lieferant Liefertermine und -mengen und der Abnehmer bezieht das Material seinem Bedarf entsprechend aus dem Lager (s. ARNOLD ET AL. 2008, S. 14).

In diesem Szenario kann der LDL neben den Aufgaben, die er als Bestandsmanager übernimmt, sämtliche funktionellen Rollen der Supply-Chain für additiv hergestellte Ersatzteile übernehmen oder deren Aufgaben fremd vergeben. Dementsprechend muss der LDL die Kompetenzen, welche AM-Entscheider, digitale Distributoren, Auswähler der

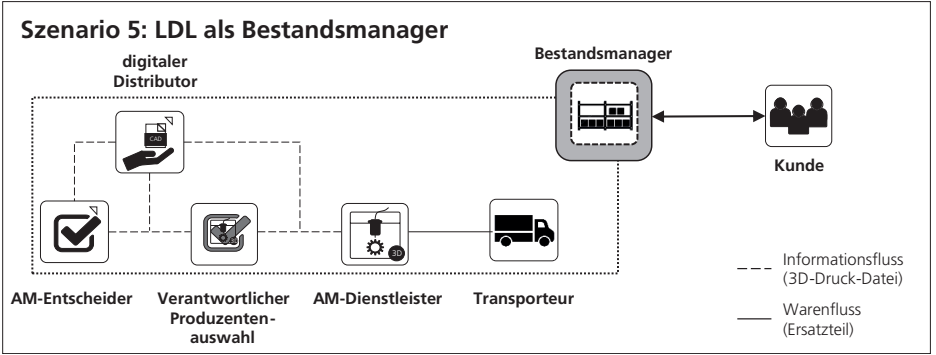


Bild 35: Szenario 5: LDL als Bestandsmanager (eigene Darstellung)

Produzenten, AM-Dienstleister und Transporteure zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigen, entweder selbst aufweisen können oder Drittparteien einbeziehen, welche über diese Kompetenzen verfügen.



## E. ENTWICKLUNG DER SOFTWARELÖSUNG

In diesem Abschnitt wird die entwickelte Softwarelösung zur Unterstützung im Bereich der additiven Fertigung von Ersatzteilen vorgestellt. In Abschnitt E.1 werden bestehende Softwarelösungen aus dem Betrachtungsbereich beschrieben und hinsichtlich des Zielbeitrags der zu beantwortenden Forschungsfragen bewertet. Nachdem die Motivation für die Entwicklung einer neuen Softwarelösung umfänglich dargestellt wurde, werden in Abschnitt E.2 Anforderungen an die Softwarelösung erarbeitet. Im Kapitel E.3 findet der Aufbau des Datenmodells und in Kapitel E.4 die finale Implementierung in Form einer webbasierten Softwarelösung statt.

### E.1 Analyse bestehender Lösungen

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Die bestehenden Softwarelösungen im Bereich der additiven Fertigung lassen sich anhand der Serviceart in die folgenden vier Kategorien unterteilen (s. RAYNA ET AL. 2015, S. 97):

1. Marktplätze für additiv herstellbare CAD-Modelle
2. Druckservices für die Fertigung von additiven Bauteilen
3. Marktplätze für die Fertigung von additiven Bauteilen
4. Crowdsourcing-Plattformen zur Bearbeitung von additiv herstellbaren Bauteilen

Nach RAYNA ET AL. bieten Designer von Bauteilen ihre digitalen Modelle auf Marktplätzen für additiv herstellbare CAD-Modelle zum Verkauf an. Dabei findet zunächst kein Verkauf der physischen Produkte statt, dafür bieten einige Plattformanbieter eine anschließende Herstellung und den Versand des gekauften Modells als Zusatzleistung an. Druckservicedienstleister bieten beispielsweise die Herstellung von CAD-Modellen des Kunden mit eigenen Produktionskapazitäten und anschließendem Versand an. Marktplätze für die Fertigung von additiven Bauteilen haben es sich hingegen zur Aufgabe gemacht, zwischen den Abnehmern und Produzenten der Bauteile zu vermitteln, ohne über eigene Fertigungskapazitäten zu verfügen. Bei der letzten Kategorie handelt es sich um Plattformen, welche die crowdbasierte Bearbeitung der Bauteile im Fokus haben. Einige Crowdsourcing-Plattformen vermitteln zusätzlich passende Druckservicedienstleister für die crowdbasiert erstellten Modelle. (s. RAYNA ET AL. 2015, S. 97 – 100)

Die zu entwickelnde Applikation dient zum einen dem Ziel, die technische und wirtschaftliche Sinnhaftigkeit der additiven Fertigung für ein Bauteil zu bewerten und zum anderen eine Auswahl passender Produzenten für dieses Bauteil bereitzustellen.

Dementsprechend werden in der nachfolgenden Beschreibung und Bewertung der existierenden Softwarelösungen nur solche Plattformen betrachtet, die mindestens eine dieser Funktionalitäten anbieten. Marktplätze für additiv herstellbare CAD-Modelle und Crowdsourcing-Plattformen zur Bearbeitung von additiv herstellbaren Bauteilen erfüllen keine der oben aufgezählten Funktionen und werden daher im Folgenden nicht betrachtet.

Laut ÜBEL bilden Druckservicedienstleister mit ihren Produkten für die Fertigung von additiven Bauteilen, die das Bauteil vor der Bestellung auf Herstellbarkeit prüfen und die Bauteile nach der Prüfung mit eigenen Produktionsanlagen herstellen, bilden eine Gruppe der zu untersuchenden Softwarelösungen. Zu den wichtigsten Plattformen in dieser Kategorie gehören *Shapeways*, *3DSystems on Demand*, *Sculpteo* sowie *Materialise*. (s. ÜBEL 2019)

Neben 3D-Druck-Serviceanbietern werden Marktplätze für die Fertigung von additiven Bauteilen untersucht, die ebenfalls eine Prüfung der Bauteile auf Herstellbarkeit durchführen und die erfolgte Bestellung anschließend an die Produzenten aus ihrem Netzwerk vermitteln. Zu den Anbietern dieser Dienste gehören *3D Hubs*, *MakeXYZ* und *Kraftwürx* (s. RAYNA ET AL. 2015, S. 98). Darüber hinaus wird die Plattform *3YOURMIND* betrachtet, welche sich im Gegensatz zu den anderen Plattformen ausschließlich an gewerbliche Kunden richtet.

Im Rahmen von Experteninterviews mit dem Projektkonsortium wurden zehn Kriterien zur Bewertung der bestehenden Softwarelösungen identifiziert. Im Folgenden werden die zehn Bewertungskriterien aufgeführt:

- Nutzbarkeit der Plattform für gewerbliche Kunden
- Überprüfung der Bauteile auf wirtschaftliche Eignung
- Überprüfung der Bauteile auf technische Eignung
- Überprüfung von Bauteilen ohne vorliegendes CAD-Modell
- Matching passender Fertiger
- Möglichkeit zur Anfragestellung über die Plattform
- Ausreichende Anzahl auswählbarer Materialien
- Eignung der Lieferzeiten für die Ersatzteilerfertigung
- Einfacher Zugang zur Plattform
- Open-Source-Lizenz

Die Ergebnisse der Analyse sind in Bild 36 (s. S. 69) zusammengefasst. Es enthält eine tabellarische Auflistung der bestehenden Lösungen und verfügt über Harvey-Balls, welche den Erfüllungsgrad der einzelnen Bewertungskriterien je untersuchter Softwarelösung



		Bewertungskriterien									
		Nutzbarkeit für gewerbliche Kunden	Überprüfung wirtschaftlicher Eignung	Überprüfung technischer Eignung	Überprüfung ohne CAD-Modell möglich	Matching passender Fertiger	Anfragestellung über die Plattform möglich	ausreichende Auswahl an Materialien	Eignung der Lieferzeit für Ersatzteulfertigung	einfacher Zugang zur Plattform	Open-Source-Lizenz
<b>Softwarelösung</b>											
<b>Druckservice-dienstleister</b>	Shapeways	◐	○	◐	○	○	●	●	●	●	○
	3D Systems On Demand	●	○	◐	○	○	●	●	●	●	○
	Sculpteo	●	○	◐	○	○	●	●	●	●	○
<b>Vermittlungs-plattformen</b>	3D Hubs	●	○	◐	○	●	●	●	●	○	
	makeXYZ	○	○	○	○	●	●	○	○	○	
	Kraftwürx	○	○	○	○	●	●	●	○	○	
	3YOURMIND	●	●	●	○	◐	◐	●	●	○	○
zu entwickelnde Softwarelösung		●	●	●	●	●	●	●	◐	◐	●

Bild 36: Bewertung der Softwarelösungen (eigene Darstellung)

beschreiben. Neben den bestehenden Lösungen umfasst das Bild auch eine Bewertung der im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelten Lösung.

Die genannten Druckservicedienstleister (*Shapeways*, *3D Systems On Demand*, *Sculpteo*) bieten während des Bestellvorgangs zwar eine Prüfung auf Fehlerfreiheit und Herstellbarkeit der Modelle an, untersuchen dabei jedoch nicht die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit der additiven Herstellung des Bauteils. Zur Prüfung der technischen Machbarkeit benötigen alle Softwarelösungen, die eine Eignungsprüfung anbieten, ein CAD-Modell. Dabei wäre eine Überprüfung der wirtschaftlichen und technischen Eignung vor der Erstellung eines für die additive Herstellung optimierten CAD-Modells wünschenswert. Darüber hinaus vermitteln die Dienstleister keine Aufträge weiter, sondern fertigen mit eigenen Produktionskapazitäten.

Die Vermittlungsplattformen *makeXYZ* und *Kraftwürx* sind aufgrund langer Lieferzeiträume nicht für zeitkritische Fertigungsaufträge, die auf dem Markt der Ersatzteulfertigung üblich sind, geeignet. Weiterhin ist die Materialauswahl bei *makeXYZ* auf Kunststoffe beschränkt. Insbesondere für die Ersatzteulfertigung benötigen gewerbliche Abnehmer

von additiv hergestellten Bauteilen aber häufig auch Metalle oder Keramiken als Materialauswahloptionen. Die Vermittlungsplattform *3D Hubs* bietet zwar eine Prüfung auf Fehlerfreiheit an, lässt dabei aber wirtschaftliche Aspekte außer Betracht (s. *3D HUBS* 2019). *3YOURMINDS* hingegen prüft sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte für die additive Fertigung des Bauteils, jedoch ist der Zugang zur Plattform nur bei Abschluss eines Laufzeitvertrags mit dem Betreiber möglich. Des Weiteren handelt es sich bei allen bisher am Markt erhältlichen Lösungen um kommerzielle Plattformen, deren Algorithmen und Bewertungskriterien nicht öffentlich zugänglich sind (s. *BAUMANN ET AL.* 2016, S. 79 – 80).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bisher keine Softwarelösung existiert, die den Anforderungen bei der Prüfung und Vermittlung von Aufträgen in der additiven Fertigung von Ersatzteilen gerecht wird. Die zu entwickelnde Softwarelösung soll diese Anforderungen erfüllen und bedient aus diesem Grund einen bestehenden Bedarf.

## E.2 Anforderungen an die Softwarelösung

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Im Rahmen von mehreren Expertenbefragungen wurden Anforderungen an die zu entwickelnden Softwarelösungen identifiziert und nachfolgend aufbereitet. Teilnehmer der Anforderungsworkshops waren Vertreter der drei Nutzergruppen: LDL, Ersatzteilmachende und 3D-Druckdienstleister. Die Anforderungen, die an die Softwarelösung gestellt werden, können in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen untergliedert werden. Die funktionalen Anforderungen können in die Kategorien *Bauteilvorauswahl*, *Produzentensuche*, *Datenverwaltung* und *Authentifizierung* eingeteilt werden. Die funktionalen Anforderungen lassen sich in Anforderungen an die technische Umsetzung und Anforderungen an die Nutzbarkeit einteilen.

### E.2.1 Funktionale Anforderungen

#### **Bauteilvorauswahl**

Die Bauteilvorauswahl stellt neben der Produzentenauswahl die Kernfunktion der zu entwickelnden Softwarelösung dar. Dabei werden wirtschaftliche und technische Teilaspekte von bestehenden Bauteilen analysiert, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage für oder gegen eine additive Fertigung des Bauteils zu liefern. Zur Realisierung der Bauteilvorauswahl in der Softwarelösung muss eine Reihe an Funktionen erfüllt sein, welche nachfolgend näher beschrieben werden.

### [AF 1] Erstellung und Bearbeitung von Bauteilen

Zur Überprüfung der Eigenschaften von zu bewertenden Bauteilen, müssen diese zunächst in das System eingepflegt werden. Dies wird dem Anwender über eine Eingabemaske ermöglicht. Die zu erfassenden Angaben sind dabei entsprechend der Auswertung in technische und wirtschaftliche Aspekte unterteilt. Die in Bild 37 dargestellten Informationen, welche für eine fundierte Evaluation der Eignung des Bauteils für die additive Fertigung nötig sind, müssen vom Kunden bzw. 3D-Druck-Dienstleister zur Verfügung gestellt werden.

Technische Aspekte	Wirtschaftliche Aspekte
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Bauteildimensionen</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Höhe</li><li>- Breite</li><li>- Tiefe</li></ul></li><li>▪ <b>gewünschte Materialkategorie</b></li><li>▪ <b>gewünschte Bauteilqualität</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Oberflächenbeschaffenheit</li><li>- mechanische Belastung</li></ul></li><li>▪ <b>Angaben zu den zu berücksichtigenden Brandschutzeigenschaften des Bauteils</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Angaben zur Wiederbeschaffung</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Wiederbeschaffungskosten</li><li>- Wiederbeschaffungszeit</li></ul></li><li>▪ <b>Bauteilvolumen</b></li><li>▪ <b>Bauteiloberfläche</b></li><li>▪ <b>Angaben zur Dringlichkeit des Bauteils</b></li><li>▪ <b>Angaben zur Bauteilkomplexität</b></li><li>▪ <b>Angaben zu Potenzial &amp; Nutzen von Optimierungsarbeiten durch</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Integralbauweise</li><li>- Leichtbau</li><li>- Funktionsintegration</li></ul></li></ul>

Bild 37: Zu erfassende Aspekte für die Bauteilvorauswahl (eigene Darstellung)

### [AF 2] Prüfung der Bauteildaten auf Vollständigkeit

Nach Eingabe der oben dargestellten Informationen werden diese auf Vollständigkeit überprüft. Sollten dabei Angaben fehlen, sollte der Nutzer einen Hinweis auf die Unvollständigkeit erhalten. Dadurch entsteht die Möglichkeit der Korrektur durch den Nutzer.

### [AF 3] Möglichkeit zur Anzeige von Hilfetexten

Aufgrund der hohen Wahrscheinlichkeit, dass Personen ohne thematisches Vorwissen im Bereich der additiven Fertigung die Softwarelösung nutzen werden, sollten bei Bedarf ein Hilfetext und erklärende Grafiken angezeigt werden können. Durch die Grafiken und Hilfetexte können Begrifflichkeiten und Verfahren der additiven Fertigung verständlich dargestellt werden.

#### **[AF 4] Bewertung der Bauteileignung für AM-Verfahren**

Die in der Softwarelösung angelegten Bauteile müssen anschließend bewertet werden. Bei der Bewertung sollen die technische und wirtschaftliche Eignung der Bauteile getrennt betrachtet werden. Die jeweiligen Ergebnisse der Eignungsprüfung sollen auf einer vom Plattformbetreiber definierbaren Formel basieren. Neben der Ausgabe des reinen Zahlenwerts soll das Ergebnis in Form einer Grafik, welche den technischen dem wirtschaftlichen Ergebniswert gegenüberstellt, dargestellt werden.

Um dem Nutzer darüber hinaus ein Verständnis für die einzelnen Aspekte zu vermitteln, die zu dem Bewertungsergebnis geführt haben, sollen diese in einer Tabelle aufgeführt und jeweils mit einer Wertung in den Stufen „sehr gut“, „gut“, „ausreichend“ und „schlecht“ versehen werden.

#### **Auswahl geeigneter Produzenten**

Die zweite Hauptfunktionalität der Softwarelösung ist die als „Matching“ bezeichnete Auswahl geeigneter Produzenten zur Fertigung der vom Nutzer angelegten Bauteile. Zur Umsetzung dieser Funktionalität muss die Softwarelösung die nachfolgend aufgeführten Anforderungen erfüllen.

#### **[AF 5] Eingabe weiterer Bauteilinformationen für das Produzenten-Matching**

Da für die Auswahl geeigneter Produzenten weiterführende Informationen benötigt werden, welche über die zur Bauteilvorauswahl erfassten Informationen hinausgehen, ist eine zusätzliche Eingabemaske vorzusehen. In dieser sollen die nachfolgend aufgelisteten Angaben zum Bauteil erfasst werden:

- Minimale Wandstärke
- Allgemeintoleranzklasse
- Oberflächengüte an Hinterschnitten oder Bohrungen
- gewünschtes Material
- gewünschte Nachbearbeitungsschritte
- Ein Kommentarfeld zur optionalen Übermittlung weiterer Informationen zum Bauteil an die vom Anwender ausgewählten Produzenten

#### **[AF 6] Prüfung der Bauteildaten auf Vollständigkeit für das Matching**

Damit fehlerhafte Ergebnisse der Produzentenauswahl vermieden werden können, sollen die hinterlegten Bauteilinformationen auf Vollständigkeit geprüft werden. Im Falle fehlender Daten soll die Softwarelösung entsprechend darauf hinweisen.

### **[AF 7] Hinterlegen von Fertigungsanlagen durch registrierte Produzenten**

Damit nach dem Einpflegen der Bauteilinformationen das Produzenten-Matching erfolgen kann, sollen registrierte Produzenten Informationen zu ihren Fertigungsanlagen in der Softwarelösung hinterlegen können.

Dabei gilt es zu beachten, dass zahlreiche Fertigungsanlagen mehrere verschiedene Materialien verarbeiten können. Der Produktionsprozess weist dabei für verschiedene Materialien unterschiedliche Parameter auf. Dementsprechend müssen die nachfolgenden Informationen, welche in der Softwarelösung hinterlegt werden sollen, anlagen- und materialspezifisch erfasst werden. Neben der Bezeichnung der additiven Fertigungsanlagen sollen folgende Informationen gespeichert werden:

- Eine interne Bezeichnung für das herstellbare Material
- Handelsbezeichnung des Materials
- Bauraumabmaße
- Erreichbarer Grundtoleranzgrad bei der Fertigung
- Herstellbare Oberflächengüte
- Herstellbare Oberflächengüte an Hinterschnitten
- Herstellbare minimale Wandstärke
- Mögliche Nacharbeitsschritte

### **[AF 8] Prüfung der Angaben zu Fertigungsanlagen auf Vollständigkeit**

Neben den vom Abnehmer hinterlegten Bauteildaten müssen auch die vom Produzenten erfassten Angaben zu den additiven Fertigungsanlagen und den damit bearbeitbaren Materialien auf Vollständigkeit überprüft werden. Sollten dabei notwendige Angaben fehlen, soll dies in Form einer Hinweismeldung an den Nutzer geleitet werden.

### **[AF 9] Durchführung der Produzentenauswahl**

Nach der Erfassung aller nötigen Informationen zu einem Bauteil soll die Softwarelösung passende Produzenten finden, die in der Lage sind, das Bauteil entsprechend den Anforderungen des Abnehmers herzustellen. Die durch den Anwender angegebenen Bauteildaten sollen dabei mit den erfassten Fertigungsmöglichkeiten der registrierten Produzenten abgeglichen werden. Als Ergebnis der Produzentenauswahl soll dem Anwender eine Liste der Produzenten, deren Fertigungsanlagen die Anforderungen erfüllen, angezeigt werden.

### **[AF 10] Versenden von Anfragen an Produzenten**

Aus der von der Softwarelösung bereitgestellten Auswahl an potenziell möglichen Produzenten soll der Anwender die Produzenten, welche er für die Fertigung des Bauteils beauftragen möchte, auswählen und kontaktieren können. Bei der Anfrage soll es möglich sein, die Bauteilinformationen an die ausgewählten Produzenten zu übermitteln. Zudem soll es möglich sein, CAD-Dateien hochzuladen, die wiederum für Produzenten freigegeben werden können.

### **[AF 11] Auflistung erhaltener Anfragen für Produzenten**

Den Produzenten sollen die erhaltenen Anfragen der Ersatzteilnachfrager in einer Übersicht aufgelistet werden. Dabei sollen die jeweiligen Bauteilinformationen sowie die Kontaktdaten der Anfragesteller bereitstehen. Sollte der Anfrage eine CAD-Datei angehängt worden sein, so soll der Download derselben möglich sein. Bearbeitete Anfragen sollen durch die Produzenten gelöscht werden können.

### **Verwaltung der hinterlegten Daten**

Der LDL ist, wie in Kapitel D.1 beschrieben, der Betreiber der zu entwickelnden Softwarelösung. In dieser Rolle ist er für die Aktualität des Datenbestands verantwortlich. Der Datenbestand umfasst dabei beispielsweise die für Anwender und Produzenten auswählbaren Materialien und die Faktoren der Formel zur Berechnung der Bauteileignung für die additive Fertigung.

Um den Datenbestand aktuell zu halten, soll der LDL in der Lage sein, diesen eigenständig, ohne die Beteiligung eines Programmierers, zu verändern. Nach JABLONSKI u. MEILER könnte anderenfalls aufgrund der Nichtverfügbarkeit entsprechender Personen eine Prozessunterbrechung folgen. (s. JABLONSKI u. MEILER 2002, S. 104). Die folgenden Anforderungen müssen erfüllt sein, um die Verwaltung der hinterlegten Daten zu ermöglichen.

### **[AF 12] Verwaltung der hinterlegten Materialien durch den Administrator**

Die durch die Anwender und Produzenten auswählbaren Materialien sollen in einer Eingabemaske durch den Administrator verwaltet werden können. Die zu jedem Materialtyp zu erfassenden Angaben sind in Bild 38 (s. S. 73) zusammengetragen.

### **[AF 13] Verwaltung der Faktoren der Bauteilvorauswahl durch den Administrator**

Die Gewichtungen der verschiedenen Faktoren der Formel zur Berechnung der technischen und wirtschaftlichen Bauteileignung für die additive Herstellung sollen durch den Administrator bearbeitet werden können.

Notwendige Angaben für die Materialauswahl	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Materialart</b> (z. B. Metall)</li> <li>▪ <b>Materialklasse</b> (z. B. Aluminium)</li> <li>▪ <b>Dichte</b></li> <li>▪ <b>Mechanische Eigenschaften</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- E-Modul</li> <li>- Biegemodul</li> <li>- Zugfestigkeit</li> <li>- Biegefestigkeit</li> <li>- Elastizitätsgrenze</li> <li>- Kerbschlagzähigkeit</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Materialpreis</b></li> <li>▪ <b>Einsatzzwecke</b></li> <li>▪ <b>Verfahren</b> (z. B. Stereolithografie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Thermische Eigenschaften</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wärmeleitfähigkeit</li> <li>- max. Dauereinsatztemperatur</li> <li>- Kältebeständigkeit</li> <li>- Wärmeausdehnungskoeffizient</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Elektrische Eigenschaften</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchschlagfestigkeit</li> <li>- Oberflächenwiderstand</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Beständigkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feuchtigkeitsaufnahme bei Normklima</li> <li>- Wasseraufnahme</li> <li>- Ölbeständigkeit</li> <li>- Chemikalienbeständigkeit</li> <li>- Korrosionsbeständigkeit</li> <li>- UV-Beständigkeit</li> </ul> </li> </ul>

Bild 38: Notwendige Angaben für die Materialauswahl (eigene Darstellung)

## Authentifizierung der Benutzer

### [AF 14] Authentifizierung der Benutzer

Um einen unberechtigten Zugriff auf Benutzer- und Bauteildaten zu verhindern, soll der Zugang zur Softwarelösung nur nach einer Authentifizierung der Benutzer mittels Benutzernamen und Kennwort möglich sein. Darüber hinaus ist eine Funktion zum Zurücksetzen des Passworts vorzusehen, damit der Zugang zum Benutzerkonto auch im Falle eines vergessenen Passworts sichergestellt ist.

### [AF 15] Vergabe verschiedener Benutzerrollen durch den Administrator

Damit die verschiedenen Funktionen des Tools den entsprechenden Nutzergruppen zugeordnet werden können, sind verschiedene Benutzerrollen zu definieren und deren Berechtigungen festzulegen. Die Rollen sollen dabei durch den Administrator des Tools zugewiesen werden.

## E.2.2 Nicht-funktionale Anforderungen

Bei nicht-funktionalen Anforderungen handelt es sich um die Rahmenbedingungen von Softwareanwendungen, unter denen die funktionalen Anforderungen zu erfüllen sind (s. BRAUN 2016, S. 3). Nachfolgend sind die nicht-funktionalen Anforderungen an die Softwarelösung aufgeführt.

## Anforderungen an die technische Umsetzung

### [AF 16] Aufbau als webbasiertes System

Der Zugang zur Softwarelösung soll unabhängig vom genutzten Betriebssystem und ohne Installationsvorgang möglich sein. Um dies zu ermöglichen, soll der Zugang zu der Softwarelösung ausschließlich über den Webbrowser erfolgen. Für die Darstellung von Websites werden im Allgemeinen die Technologien HTML, CSS und JavaScript genutzt (s. MOZILLA CORPORATION 2019). Dementsprechend sollen im Bereich des Frontends der Softwarelösung die Programmiersprachen HTML, CSS und JavaScript eingesetzt werden.

Neben HTML werden im Allgemeinen andere Technologien verwendet, um das Erscheinungsbild (CSS) oder die Funktionalität/das Verhalten (JavaScript) einer Webseite zu beschreiben.

### [AF 17] Lauffähigkeit des Backends auf Standardwebservern

Um den Aufwand für die Installation der Softwarelösung im Bereich des Backends gering zu halten, soll die Softwarelösung auf Standardwebservern lauffähig sein.

### [AF 18] Datenspeicherung in einer zentralen Datenbank

Zur Erfüllung der funktionalen Anforderungen ist eine zentrale Verwaltung aller Datensätze in einer Datenbank erforderlich. Dabei soll ein gängiges Datenbanksystem als Basis gewählt werden.

### [AF 19] Erweiterbarkeit und Wartbarkeit

Damit zukünftig Erweiterungen des Funktionsumfangs möglich sind und die Wartung der Softwarelösung erleichtert wird, soll der dem System zugrundeliegende Quellcode in angemessener Weise dokumentiert werden.

## Anforderungen an die Nutzbarkeit

### [AF 20] Erzielung einer hohen Benutzerfreundlichkeit

Neben den bereitgestellten Funktionen ist die Benutzerfreundlichkeit einer Software entscheidend für ihre Akzeptanz (s. STOLL 2007, S. 68). Aus diesem Grund ist bei der Entwicklung der Softwarelösung eine hohe Usability für den Anwender zu erreichen. Dafür ist eine intuitiv bedienbare Bedienoberfläche zu schaffen, die eine Nutzung ohne größeres Vorwissen und mit einer kurzen Einarbeitungszeit ermöglicht.

### [AF 21] Verwendung einer einheitlichen Designsprache

Zur Umsetzung der Softwarelösung soll eine einheitliche Designsprache der Bedienelemente verwendet werden. Die genutzten Komponenten, wie das



Navigationsmenü, die Tabellen sowie die Schaltflächen sollen dementsprechend über ein gleiches Design verfügen.

## E.3 Aufbau des Datenmodells

Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)

In diesem Kapitel finden die Konzeptionierung der Software sowie der Entwurf einer anforderungsgerechten Datenstruktur zur Erfassung der Eingaben statt. Zunächst wird ein Datenmodell für die Erfassung der Nutzerdaten spezifiziert. Im Anschluss daran erfolgt die Entwicklung der zur Umsetzung der Bauteilvorauswahl und der Produzentenauswahl notwendigen Datenstruktur.

### E.3.1 Auswahl einer Datenbankstruktur

Um den Anforderungen an die technische Umsetzung gerecht zu werden, erfolgt die Konzeption des Datenmodells nach einem relationalen Datenbankschema. Bei diesem Datenbankschema werden die Benutzer- und Bauteildaten in einer zentralen Datenbank verwaltet und die Lauffähigkeit der Software auf Standardwebservern wird sichergestellt. Ein relationales Datenbankschema stellt das in der Praxis am weitesten verbreitete Datenbankmodell dar und bietet sich für die Softwarelösung aufgrund der flexiblen Datenstruktur und der hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit an (s. JANNIDIS ET AL. 2017, S. 111). Bei diesem Modell werden zur Datenspeicherung Tabellen verwendet, deren Inhalte miteinander im Zusammenhang stehen (s. BURNUS 2008, S. 13).

Zur Verwaltung von relationalen Datenstrukturen wird die *Structured Query Language* (SQL) genutzt. Mit dieser können sowohl die Grundstruktur des Aufbaus als auch die Daten in den einzelnen Tabellen bearbeitet werden (s. UNTERSTEIN u. MATTHIESSEN 2012, S. 39 – 40).

### E.3.2 Datenmodell der Benutzeraccounts

Bevor die eigentlichen Funktionen der Softwarelösung datenseitig definiert werden können, müssen zunächst die von den Benutzern erfassten Stammdaten in einem Datenmodell dargestellt werden. Zu den von den Nutzern aufgenommenen Daten gehören neben dem Benutzernamen und dem Kennwort der vollständige Name des Nutzers, der Name des Unternehmens, in dessen Auftrag er handelt, seine E-Mail-Adresse, die postalische Anschrift des Unternehmens und die Telefonnummer des Benutzers.

## Benutzerrollen

Zur Vereinfachung der Benutzeroberfläche und zum Schutz der Anwenderdaten sollen den Benutzergruppen verschiedene Rechte rollen zugeordnet werden können. Diese Rollen sind an die drei Benutzergruppen angelehnt, welche im Folgenden näher dargestellt werden:

1. Abnehmer von additiv hergestellten Bauteilen: Diese Benutzergruppe soll Zugriff auf die Funktionen der Bauteilvorauswahl und Produzentensuche haben. Dazu muss diese Benutzergruppe Bauteile einpflegen, einsehen und bearbeiten können. Darüber hinaus haben die Abnehmer keinen Zugriff auf die Verwaltungsfunktionen der Softwarelösung oder auf Bauteile anderer Abnehmer.
2. Produzenten von additiv hergestellten Bauteilen: Produzenten können Angaben über die eigenen Fertigungsanlagen im Tool hinterlegen und darüber hinaus diejenigen Bauteile einsehen, für welche die Abnehmer Anfragen gestellt haben. Ein Zugriff auf weitere Verwaltungsfunktionen des Tools ist nicht vorgesehen.
3. Administratoren: Als Verwaltungsinstanz der Softwarelösung haben die Administratoren Zugriff auf sämtliche Bauteil- und Benutzerdaten. Diese Benutzerrolle kann darüber hinaus die Verwaltungsfunktionen der Softwarelösung, z. B. die Datenbank der auswählbaren Materialien sowie die Bewertungsformel der Bauteilvorauswahl, bearbeiten. Administratoren sind weiterhin in der Lage, die Rollenzugehörigkeit anderer Benutzer zu verändern und neue Benutzer für den Zugriff auf die Plattform zuzulassen.

### E.3.3 Datenmodell der Bauteilvorauswahl

Bei der Bauteilvorauswahl soll die Eignung von Bauteilen für eine Herstellung mit additiven Fertigungsverfahren bewertet werden. Diese Bewertung soll in Form eines Scorewerts erfolgen. Der Scorewert wird separat für die wirtschaftliche und technische Eignung ausgegeben.

Zur Umsetzung der Bauteilvorauswahl muss zum einen ein Datenmodell zur Erfassung der Bauteildaten entworfen werden, zum anderen muss die der Bewertung zugrundeliegende Formel spezifiziert werden.

#### Spezifikation der technischen Bewertungsformel

Die Berechnung des technischen Scorewerts erfolgt anhand einer Formel, welche die nachfolgend aufgelisteten fünf Aspekte des Bauteils einbezieht:

- Die Bauteildimensionen,
- der gewünschten Materialtyp (z. B. Kunststoff),
- die Oberflächenbeschaffenheit,

- die mechanische Belastung,
- die zu berücksichtigenden Brandschutzeigenschaften des Bauteils.

Die Formel zur Berechnung mit den genannten  $i$  Teilaspekten lautet:

$$\text{Technisches Potenzial} = \sum_i \text{Gewichtungsfaktor}_i \cdot \text{Ergebnis (Teilaspekt)}_i$$

Die Bauteileigenschaften in den jeweiligen Teilaspekten werden mit einem Eignungswert zwischen 0 und 100 Punkten bewertet. Ein niedriger Wert entspricht dabei einer schlechten Eignung des Bauteils, während ein hoher Wert für eine gute Eignung steht. Die Summe aller Gewichtungsfaktoren entspricht dem Wert 1. Daraus folgend ergibt sich für das Gesamtergebnis ein Wert zwischen 0 und 100. Dies macht die technische Eignung des Bauteils für den Anwender einfach interpretierbar.

Für die Bewertung der Teilaspekte werden zwei Vorgehensweisen unterschieden: Zum einen können die Ausprägungen der einzelnen Informationsmerkmale aus einem Drop-down-Menü gewählt werden. Hierbei ist für jede Option des Drop-down-Menüs ein Ergebniswert hinterlegt. Für den Teilaspekt der mechanischen Bauteilbelastung sind beispielsweise für die Bewertungsoption „niedrig“ 100 Punkte, für „mittel“ 75 Punkte und für „hoch“ 50 Punkte hinterlegt.

Zum anderen können konkrete Zahlenwerte für einzelne Aspekte verlangt werden, welche vom Nutzer über eine Eingabemaske direkt in das Softwaretool eingepflegt werden. In diesem Fall werden Wertebereiche festgelegt, die wiederum mit einem Bewertungsergebnis versehen werden. Liegt dabei der Eingabewert innerhalb der Grenzen dieses Wertebereichs, so wird das Bewertungsergebnis dieses Bereichs für den Teilaspekt übernommen.

### Spezifikation der wirtschaftlichen Bewertungsformel

Das Ergebnis der wirtschaftlichen Bauteileignung für die additive Herstellung wird dabei nach demselben Prinzip berechnet wie das der technischen Bauteileignung. Auch hierbei werden Drop-down-Optionen mit Ergebniswerten versehen und bei numerischen Eingaben Wertebereiche einem Ergebniswert zugeordnet.

Die folgenden Teilaspekte gehen in die wirtschaftliche Bewertung ein:

- Verhältnis von AM-Kosten zu Wiederbeschaffungskosten
- Verhältnis von AM-Produktionszeit zu Wiederbeschaffungszeit
- Bauteilkritikalität
- Bauteilkomplexität

- Potenzial & Nutzen einer Bauteiloptimierung für Integralbauweise
- Potenzial & Nutzen einer Bauteiloptimierung für Leichtbauweise
- Potenzial & Nutzen einer Bauteiloptimierung für Funktionsintegration
- Verhältnis der Bauteiloberfläche zum Bauteilvolumen
- Verhältnis des Bauteilvolumens zum Bounding-Box-Volumen

Im Gegensatz zur Berechnung des technischen Potenzials werden hierbei keine direkt vom Anwender erfassten Zahlenwerte bewertet. Stattdessen werden nach entsprechenden Formeln errechnete Verhältnisse, wie z. B. das in der Auflistung genannte Verhältnis von AM-Kosten zu Wiederbeschaffungskosten, verwendet. Darüber hinaus werden die Kosten der additiven Herstellung in Abhängigkeit des ausgewählten Materialtyps angenähert (s. Anhang: Formel 1). Zu den Einflussgrößen der Formeln gehören der Materialpreis, das Bauteilvolumen sowie die Dichte des Materials. Die Bereitstellungsdauer wird dabei ebenfalls mit einer Formel angenähert, welche abhängig vom Bauteilvolumen und der Druckgeschwindigkeit ist.

Technische Aspekte	Wirtschaftliche Aspekte
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauteildimensionen               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhe</li> <li>• Breite</li> <li>• Tiefe</li> </ul> </li> <li>• Gewünschte Materialkategorie</li> <li>• Gewünschte Bauteilqualität</li> <li>• Oberflächenbeschaffenheit</li> <li>• Mechanische Belastung</li> <li>• Angaben zu den zu berücksichtigenden Brandschutzeigenschaften des Bauteils</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angaben zur Wiederbeschaffung               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederbeschaffungskosten</li> <li>• Wiederbeschaffungszeit</li> </ul> </li> <li>• Bauteilvolumen</li> <li>• Bauteiloberfläche</li> <li>• Angaben zur Dringlichkeit des Bauteils</li> <li>• Angaben zur Bauteilkomplexität</li> <li>• Angaben zu Potenzial &amp; Nutzen von Optimierungsarbeiten durch               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integralbauweise</li> <li>• Leichtbau</li> <li>• Funktionsintegration</li> </ul> </li> </ul>

Bild 39: Unterteilung der erfassten Werte nach Eingabetyp (eigene Darstellung)

### Erfassung der Bauteildaten

Die aufgenommenen Bauteildaten sind in Bild 39 aufgelistet. Insgesamt handelt es sich um sieben Zahlenwerte, dreizehn Auswahlmenüs sowie um ein Textfeld zur Erfassung des Bauteilnamens. Dabei sind für die Zahlenwerte zusätzlich Auswahloptionen vorzusehen, mit denen die Einheit des angegebenen Werts spezifiziert werden kann.

### E.3.4 Konzeption der Produzentensuche

Bei der zweiten Hauptfunktion, der Produzentensuche, soll dem Anwender eine Auswahl geeigneter Produzenten für die von ihm eingepflegten Bauteile bereitgestellt werden. Dazu werden die vom Abnehmer gewünschten Bauteilparameter mit den Parametern aller hinterlegten Fertigungsanlagen verglichen. Die dabei zu vergleichenden Aspekte sind in Bild 40 dargestellt.

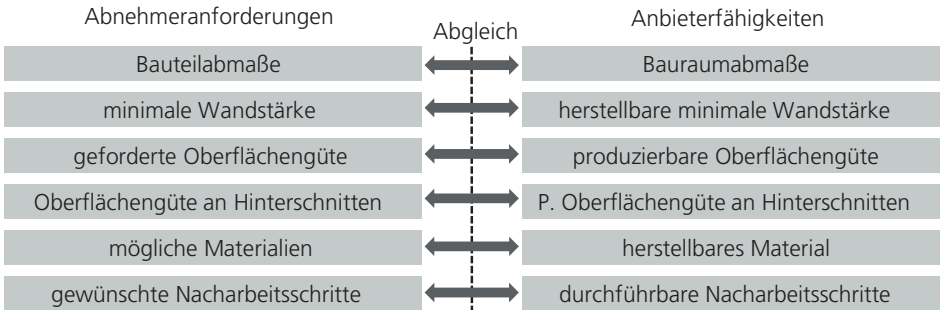


Bild 40: Abgleichende Aspekte bei der Produzentensuche (eigene Darstellung)

#### Erweiterung des Bauteildatenmodells

Zur Umsetzung des Produzenten-Matchings müssen neben den zur Bauteilvorauswahl erfassten Daten zusätzliche Angaben gemacht werden. Zu den zusätzlich benötigten Informationen gehören die minimale Wandstärke, die Oberflächengüte des Bauteils an Außenflächen sowie an Hinterschnitten die verwendbaren Materialien und die notwendigen Nachbearbeitungsschritte. Zudem kann bei der Anfrage optional ein Kommentar an den Produzenten übermittelt werden.

#### Datenmodell zur Erfassung der Produzentenfähigkeiten

Im Gegensatz zu Bauteilen, die jeweils direkt einem Benutzer mit der Rolle „Abnehmer“ zugeordnet werden können, müssen die herstellbaren Materialien, wie in Bild 41 (s. S. 80) dargestellt, zunächst einer Maschine und diese anschließend einem Benutzer mit der Rolle „Produzent“ zugeordnet werden.

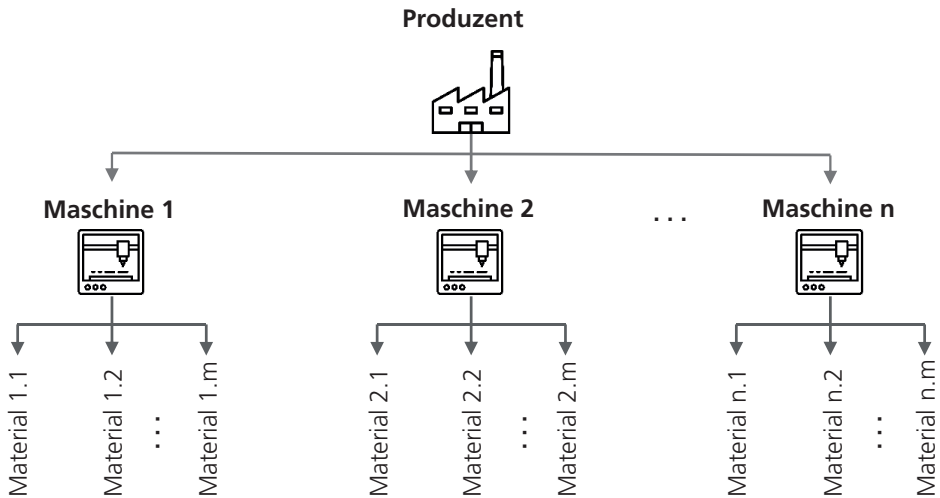


Bild 41: Zuordnung der herstellbaren Materialien zu Produzenten (eigene Darstellung)

Die mit einer Produktionsmaschine erreichbaren Bauteileigenschaften weichen in Abhängigkeit des gewählten Materials voneinander ab. Dies führt dazu, dass sämtliche Angaben, z. B. zu den Bauraumabmaßen, dem Material und nicht der Maschine selbst zugeordnet werden müssen. Aus diesem Grund umfasst das Datenmodell einer Maschine lediglich eine durch den Produzenten frei wählbare Maschinenbezeichnung.

Das Datenmodell zur Erfassung der Produzentenfähigkeiten ist in Bild 42 (s. S. 81) dargestellt. Dabei sind die Eigenschaften der Materialien in der Tabelle *MachineMaterials* gespeichert, die zum einen auf die übergeordnete Maschine und zum anderen auf den genauen Materialtyp, der dabei spezifiziert wird, verweist. Zu den aufgenommenen Eigenschaften gehören die Angaben zu den Bauraumdimensionen und den dazugehörigen Einheiten sowie die erreichbaren Oberflächenqualitäten an Außenflächen und Hinterschnitten. Die durchführbaren Nacharbeitsschritte werden in einer separaten Tabelle (*SelectedDownstreamProcessesForMachines*) geführt, um eine Mehrfachauswahl zu ermöglichen. Die Datensätze dieser Tabelle verweisen jeweils auf ein herstellbares Material und einen durchführbaren Nachbearbeitungsschritt.

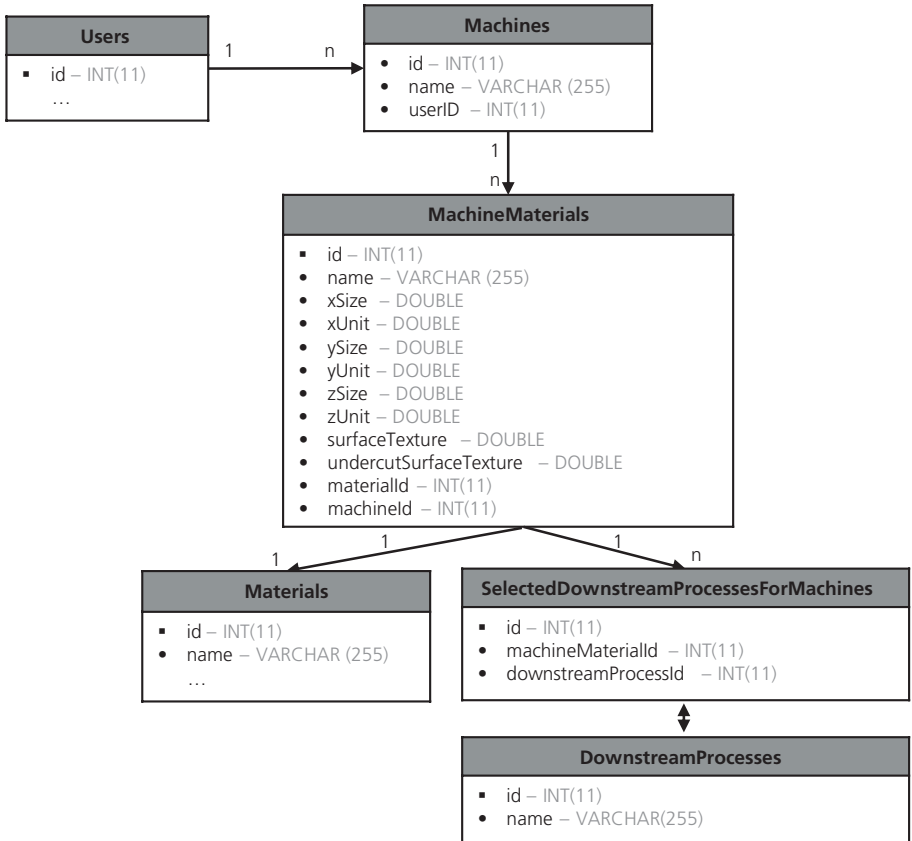


Bild 42: Datenmodell zur Erfassung der Produzentenfähigkeiten (eigene Darstellung)

### Erfassung der Abnehmeranfragen

Abnehmer können, nachdem ihnen die Auswahl passender Produzenten bereitgestellt wurde, Anfragen zur Herstellung des Bauteils versenden. In dem Datenmodell werden das entsprechende Bauteil, der ausgewählte Produzent und der Anfragezeitpunkt gespeichert. Dabei ist anzumerken, dass für jedes Bauteil mehrere Anfragen gestellt werden können.

### E.3.5 Spezifikation der Materialdatenbank

Zur Erfassung der Materialeigenschaften sind entsprechend der Anforderungsanalyse in Kapitel E.2.1 insgesamt 25 Eigenschaften für jedes Material zu erfassen. Die Datenstruktur zur Erfassung ist in Bild 43 aufgezeigt.

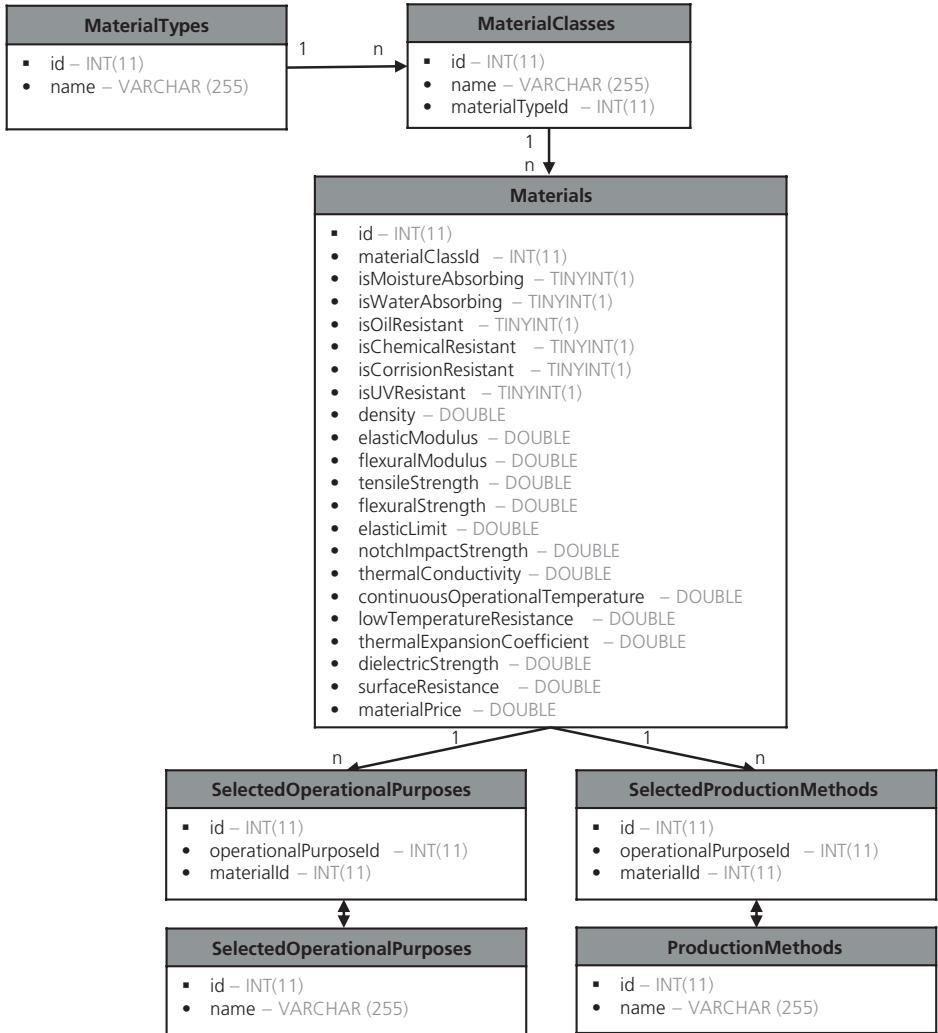


Bild 43: Datenstruktur zur Erfassung der Materialeigenschaften (eigene Darstellung)



In der Datenstruktur ist eine hierarchische Zuordnung der hinterlegten Materialien zu jeweils genau einer Materialklasse vorgesehen. Die Materialklassen sind wiederum einem Materialtyp zugeordnet. Weiterhin berücksichtigt das Datenmodell, dass die Materialien für mehrere Einsatzzwecke genutzt werden können und sich mit verschiedenen Herstellungsverfahren bearbeiten lassen.

Die erfassten Materialdaten können ausschließlich von Administratoren bearbeitet und ergänzt werden. Den Abnehmern und Produzenten stehen diese Daten im Lesezugriff zur Verfügung. Die Beschränkung der Bearbeitungsrechte auf die Administratoren stellt eine hohe Datenqualität sicher und dient der Vermeidung von Materialduplikaten.

## E.4 Implementierung

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Nachdem in Kapitel E.3 der Aufbau des verwendeten Datenmodells definiert wurde, folgt in diesem Kapitel die praktische Implementierung der Softwarelösung. Dazu werden zunächst geeignete Technologien zur Umsetzung des Tools ausgewählt. Daran schließt sich der Aufbau der grafischen Benutzeroberfläche an, bevor die Umsetzung der Hauptfunktionalitäten beschrieben wird.

### E.4.1 Auswahl geeigneter Technologien

Um den Anforderungen an die technische Umsetzung gerecht zu werden, müssen die ausgewählten Programmiersprachen zur Realisierung des Frontends und des Backends eine webbasierte Ausführung des Programms ermöglichen und auf allen Standardservern lauffähig sein.

#### Wahl einer Programmiersprache für das Backend

Durch den Marktanteil der Programmiersprache PHP von 79 Prozent kann davon ausgegangen werden, dass sie auf praktisch allen Standardwebservern vorinstalliert ist (s. W3TECHS 2019; s. BÜHLER ET AL. 2018, S. 54). Zudem bietet PHP eine integrierte Schnittstelle zur Kommunikation mit SQL-basierten Datenbanksystemen. Aus diesen Gründen wird PHP als serverseitige Programmiersprache zur Implementierung der Softwarelösung genutzt.

#### Wahl eines Frameworks für das Frontend

Im Bereich des Frontends hat sich die Kombination aus den Programmiersprachen HTML, CSS und JavaScript als Standard für die Entwicklung von browserbasierten

Applikationen durchgesetzt (s. MOZILLA CORPORATION 2019). Deshalb werden diese für die clientseitige Implementierung der Softwarelösung gewählt.

Um den Programmierprozess zu erleichtern, werden sogenannte Frameworks eingesetzt, die ein Grundgerüst bei der Entwicklung darstellen und die ursprüngliche Programmiersprache um bestimmte Aspekte erweitern (s. BÜHLER ET AL. 2018, S. 50).

Weil Frameworks einzelne Quelldateien automatisiert zusammenführen und zu einer Datei bündeln können, wodurch eine Unterteilung der Applikation in verschiedene wiederverwendbare Module ermöglicht wird, sind sie besonders relevant für die Erweiterbarkeit der Plattform. Zu den meistverbreiteten Frameworks im Bereich der Webapplikation gehören *Angular*, *React* und *Vue* (s. CUELOGIC TECHNOLOGIES 2018). *Vue* bietet von den genannten Frameworks die höchste Performance beim Rendern der Inhalte. Die Größe der zu übertragenden Dateien ist geringer und die Dokumentation ist besser als bei den Alternativen. Aufgrund der geringen Komplexität eignet sich *Vue* besonders für kleinere Projekte (s. FINNIGAN 2018). Aus den genannten Gründen ist *Vue* für die clientseitige Implementierung der Softwarelösung gut geeignet und wird dementsprechend als Frontend-Framework ausgewählt.

#### **E.4.2 Aufbau der Benutzeroberfläche**

Die Konsistenz gehört bei der Umsetzung von grafischen Benutzeroberflächen zu den wichtigsten Aspekten. Durch einen konsistenten Aufbau wird dem Benutzer die Erlernung von Bedienschritten erleichtert, während eine mangelhafte Konsistenz die Bedienung erschwert. (s. DEMANT 2018, S. 179)

Um eine konsistente Umsetzung der Softwarelösung sicherzustellen, wird die auf *Vue* basierende Komponentenbibliothek *Buefy* eingesetzt. Durch ihre Verwendung kann auf bereitgestellte User-Interface(UI)-Komponenten zurückgegriffen werden, wodurch der Programmierprozess vereinfacht wird. Zu den in *BUEFY* hinterlegten Komponenten gehören unter anderem die Schaltfläche, die Dropdown-Menüs, die Eingabefelder, die Tabellen, die Ladeindikatoren und Dialogboxen (s. BUEFY 2019). In Bild 44 (s. S. 85) ist der grundsätzliche Aufbau der Benutzeroberfläche dargestellt. Die linke Seite der Applikation stellt dabei das Menü dar, in dem der Benutzer die Funktionen der Softwarelösung auswählen kann. Im rechten Bereich wird der Zugriff auf die jeweils ausgewählte Funktion gewährt.

Um eine intuitive Bedienung der Softwarelösung zu ermöglichen, werden die Schaltflächen mit Icons versehen. Damit die Icons ein einheitliches Design aufweisen, werden die Icons aus der Icon-Bibliothek von *FontAwesome* verwendet. Die Icons stehen frei nutzbar unter einer Open-Source-Lizenz zur Verfügung.

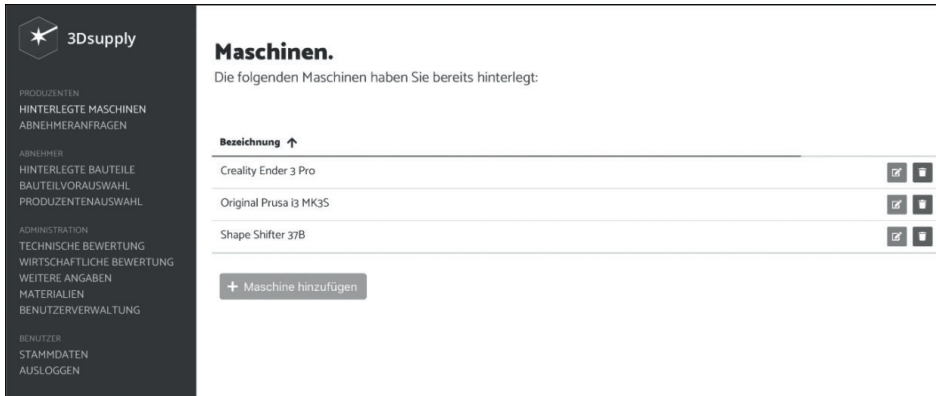


Bild 44: Bereiche der Benutzeroberfläche (eigene Darstellung)

Systemseitiges Feedback für jede Art von Handlungen der Softwarelösung ist ein weiteres sehr wichtiges Kriterium für Benutzeroberflächen (s. FOURCAN u. UTPAL 2014, S. 81). Um systemseitiges Feedback auf der Benutzeroberfläche der Softwarelösung zu implementieren, werden Benachrichtigungen in der Applikation realisiert. Dabei wird durch die jeweilige Hintergrundfarbe der Benachrichtigung vermittelt, ob es sich um eine Erfolgsmeldung (grün) oder eine Fehlermeldung (rot) handelt.

### E.4.3 Umsetzung der Funktionalitäten

Im Folgenden wird die Umsetzung der Funktionalitäten der Softwarelösung beschrieben. Zunächst soll die Implementierung der Authentifizierungsfunktion thematisiert werden. Daraufhin folgt die Implementierung der beiden Hauptfunktionen in Form der Bauteilvorauswahl und der Produzentenauswahl. Zuletzt wird die Umsetzung der Verwaltungsfunktionen beschrieben.

#### Authentifizierung der Benutzer

Um die Sicherheit der im Tool hinterlegten Nutzer- und Bauteildaten garantieren zu können, ist ein Authentifizierungsvorgang zu Beginn jeder Sitzung vorgesehen. Zur Authentifizierung werden die vom Benutzer hinterlegte E-Mail-Adresse sowie sein Passwort abgefragt. Die dazu genutzte Anmeldemaske des Systems ist in Bild 45 (s. S. 86) dargestellt.



## 3D Supply

  
   
[Passwort vergessen?](#)

ALSTOM

COMPRISETEC  
CORPORATE AND BUSINESS TECHNOLOGIES

fir  
an der  
RWTH Aachen

Fraunhofer  
IAPT

TOP  
MEHRWERT-LOGISTIK

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Bild 45: Anmeldemaske der Softwarelösung

Nach der Eingabe der Login-Daten und der Auswahl der Schaltfläche „Anmelden“ wird eine entsprechende Anfrage an den Webserver übermittelt. Dieser gleicht das in der Datenbank hinterlegte, zur eingegebenen E-Mail-Adresse gehörende Passwort mit den Login-Daten ab.

Bei Übereinstimmung wird der Benutzer auf die Startseite des Tools weitergeleitet. Sollten die Passwörter nicht übereinstimmen oder die eingegebene E-Mail-Adresse nicht in der Datenbank hinterlegt sein, wird eine Fehlermeldung angezeigt.

Darüber hinaus wird zur Verhinderung von sogenannten Brute-Force-Attacks, bei denen Passwörter automatisiert und mit hoher Geschwindigkeit eingegeben werden (s. AICHELE u. SCHÖNBERGER 2014, S. 220), die Anzahl der Fehlversuche pro Account gezählt. Infolge von zehn fehlgeschlagenen Anmeldeversuchen wird die Anmeldung für diesen Account für einen Zeitraum von fünfzehn Minuten gesperrt. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass Brute-Force-Attacks unwirtschaftlich sind.

Die Erstellung von Benutzer-Accounts erfolgt durch die Administratoren der Softwarelösung. Um neue Benutzer anzulegen, nutzen Administratoren die in Bild 46 dargestellte Eingabemaske und erfassen die relevanten Kontaktdaten sowie die zu vergebende Benutzerrolle. Im Anschluss erhalten die Benutzer eine E-Mail mit einem Link zur Erstellung eines Account-Passworts. Da der Zugang zur Plattform nur über den Plattformbetreiber ermöglicht wird, behält dieser die Kontrolle über die registrierten Benutzer der Plattform. Somit hat der Betreiber beispielsweise die Möglichkeit, die Fertigungsqualität der Produzenten vorab zu prüfen. Darüber hinaus ist eine Möglichkeit zur Selbstregistrierung neuer Benutzer bereits in der Applikation implementiert und kann bei Bedarf mit geringem Aufwand aktiviert werden.

### Bauteilvorauswahl

Die Bewertung des Potenzials eines Bauteils für die additive Fertigung stellt eine Hauptfunktion der Softwarelösung dar und wird als Bauteilvorauswahl bezeichnet. Um die Eignung zu bewerten, muss der Anwender zunächst die in Bild 26 aufgeführten Eigenschaften des Bauteils erfassen. Die dazu verwendete Eingabemaske ist in Bild 47 (s. S. 88) dargestellt.

Beim Speichervorgang werden die angegebenen Daten auf ihre Vollständigkeit überprüft. Sollte dabei festgestellt werden, dass notwendige Angaben fehlen, werden die fehlenden Angaben zusammen mit einem entsprechenden Hinweis im unteren Bereich der Maske aufgelistet.

**Neuen Benutzer anlegen.**

Firma:

Ansprechpartner:

Profil:  ▼

Mailadresse:

Bild 46: Eingabemaske zur Erstellung neuer Benutzer-Accounts (eigene Darstellung)

**3Dsupply**

PRODUZENTEN  
HINTERLEGTE MASCHINEN  
ABNEHMERANFRAGEN

ABNEHMER  
HINTERLEGTE BAUTEILE  
BAUTEILVORWAHL  
PRODUZENTENAUSWAHL

ADMINISTRATION  
TECHNISCHE BEWERTUNG  
WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG  
WEITERE ANGABEN  
MATERIALIEN  
BENUTZERVERWALTUNG

BENUTZER  
STAMMDATEN  
AUSLOGGEN

## Bauteil bearbeiten.

Beispielbauteil

Angaben für das Produzentermatching mit erfassen

Technisches Potenzial    Wirtschaftliches Potenzial

Alle Angaben beziehen sich auf das bestehende Bauteil, welches auf 3D-Druckfähigkeit überprüft werden soll.

**Bauteilname** ⓘ

Beispielbauteil

**Dimension**

Höhe: 120 mm    Breite: 10 cm    Länge: 5 cm

**Material** ⓘ

Aluminiumlegierung

**Qualität**

Oberflächenbeschaffenheit ⓘ    Mech. Belastung ⓘ

grob (30 < Ra)    niedrig

**Brandschutz**

Existieren spezielle Anforderungen bezüglich des Brandschutzes nach DIN EN 45545?

Ja     Nein

Speichern

Die angegebenen Daten reichen bereits für die Bauteilvorauswahl aus.

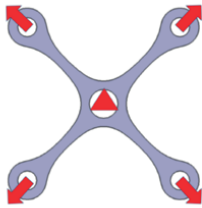
Bild 47: Eingabemaske zur Erfassung der technischen Bauteildaten (eigene Darstellung)

Die in den Datenfeldern abgefragten Eigenschaften werden zusätzlich zu jedem Zeitpunkt auf ihre Plausibilität und den passenden Datentyp überprüft. Werden beispielsweise negative Zahlenwerte bei den Bauteildimensionen oder Text in Feldern für numerische Werte eingetragen, wird ein entsprechender Hinweis ausgegeben.

Um das Verständnis für die zu erfassenden Bauteileigenschaften zu erleichtern, sind ausgewählte Eingabefelder mit Schaltflächen für die Einblendung von Hilfestellungen versehen. Beim Anklicken der Schaltfläche öffnet sich ein entsprechender Pop-up-Dialog, der neben Textelementen auch Bilder enthalten kann. Bild 48 (s. S. 89) zeigt beispielhaft den Hilfedialog zum Eingabefeld des Leichtbaupotenzials.

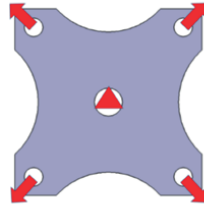
Nachdem alle notwendigen Angaben vorliegen, kann der Anwender das erfasste Bauteil auf die Eignung für die additive Herstellung prüfen lassen. Die Softwarelösung berechnet daraufhin die technischen und wirtschaftlichen Score-Werte für das Bauteil. Diese geben das Potenzial jeweils mit einem Ergebniswert

# Leichtbaupotenzial



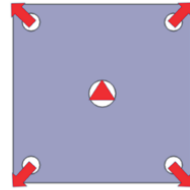
niedriges Leichtbaupotenzial

- Bauteil bestehend aus komplexeren, auf die Belastung angepassten Formen



mittleres Leichtbaupotenzial

- weitestgehend einfache Formen (z. B. Quader, Kreiszylinder)
- Geometrie orientiert sich teilweise an Belastungen



leichtes Leichtbaupotenzial

- einfache Formen (z. B. Quader, Kreisausschnitte)
- „blockartiges“ Design
- Geometrie orientiert sich nicht an den Belastungen

Bild 48: Beispielhafte Hilfestellung bei der Erfassung der Bauteildaten (eigene Darstellung)

zwischen 0 (niedriges Potenzial) und 100 (sehr hohes Potenzial) an. Zur besseren Interpretierbarkeit des Ergebnisses werden die Score-Werte, wie in Bild 49 zu sehen ist, in einem Diagramm dargestellt.

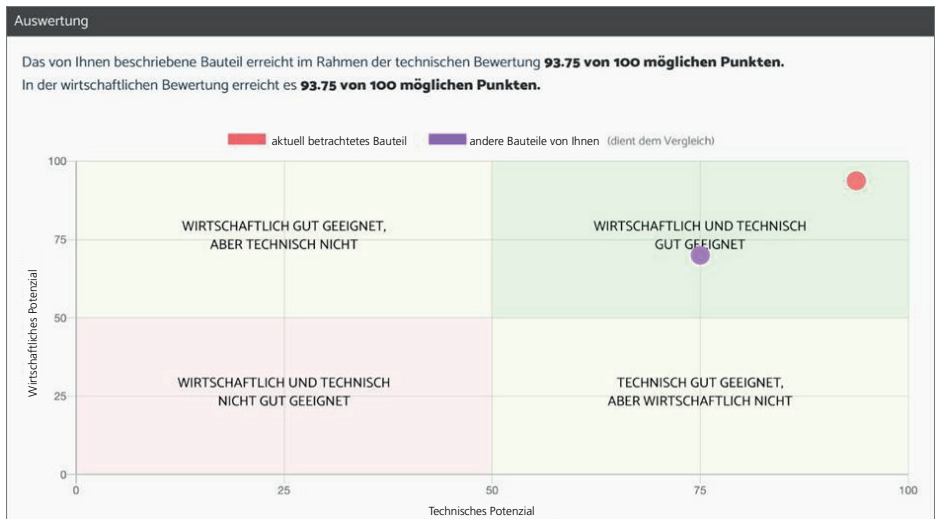


Bild 49: Darstellung der Score-Werte in Diagrammform (eigene Darstellung)

Zusätzlich wird eine detaillierte Auflistung aller Faktoren, die zu dem jeweiligen Bewertungsergebnis geführt haben, von der Softwarelösung bereitgestellt. Diese Aufschlüsselung der Bauteilbewertung ist in Bild 50 abgebildet. Das Bauteil erhält dabei für jeden einzelnen Faktor eine Bewertung in den Abstufungen „sehr gut“, „gut“, „ausreichend“ oder „schlecht“. Durch die detaillierte Auflistung soll die Nachvollziehbarkeit der ausgegebenen Bewertung erhöht werden.

## Produzentensuche

Neben der Bewertung der erfassten Bauteile ermöglicht die Softwarelösung die Bereitstellung einer Auswahl von passenden Produzenten. Dazu werden die Abnehmeranforderungen an die Bauteileigenschaften mit den Fähigkeiten der Produzenten abgeglichen. Dementsprechend kann gewährleistet werden, dass ausschließlich Produzenten ausgegeben werden, die das Bauteil tatsächlich fertigen können. Die dazu benötigten Angaben zum Bauteil werden mittels der bereits zur Bauteilvorauswahl verwendeten und in Bild 49 (s. S. 89) dargestellten Eingabemaske, welche für die Produzentensuche mit einem dritten Reiter mit weiteren Datenfeldern ergänzt wird, erfasst. Für die Datenfelder dieses Reiters wird ebenfalls eine Überprüfung auf Vollständigkeit und Plausibilität durchgeführt. Bei fehlenden oder nicht plausiblen Daten wird ein entsprechender Hinweis angezeigt.

Technische Eignung		Wirtschaftliche Eignung	
1. Bauteildimension <small>&lt;250 x 250 x 400mm</small>	Gut	1. Verhältnis AM-Kosten / Wiederbeschaffungskosten <small>&lt; 0,9</small>	Sehr gut
2. Material <small>Aluminiumlegierung</small>	Gut	2. Verhältnis AM-Zeit / Wiederbeschaffungszeit <small>&lt; 0,9</small>	Sehr gut
3. Qualität (Oberflächenbeschaffenheit) <small>gr50 (30 - Ra)</small>	Sehr gut	3. Bauteilkritikalität <small>hoch</small>	Sehr gut
4. Qualität (Mech. Belastung) <small>niedrig</small>	Sehr gut	4. Bauteilkomplexität <small>hoch</small>	Sehr gut
5. Brandschutz <small>Nicht relevant</small>	Keine Wertung	5. Wertsteigerung Integralbauweise – Potenzial <small>hoch</small>	Sehr gut
		6. Wertsteigerung Integralbauweise – Nutzen <small>hoch</small>	Sehr gut
		7. Wertsteigerung Leichtbau – Potenzial <small>hoch</small>	Sehr gut
		8. Wertsteigerung Leichtbau – Nutzen <small>hoch</small>	Sehr gut
		9. Wertsteigerung Funktionsintegration – Potenzial <small>hoch</small>	Sehr gut
		10. Wertsteigerung Funktionsintegration – Nutzen <small>hoch</small>	Sehr gut
		11. Verhältnis Oberfläche / Volumen <small>&lt; 15</small>	Ausreichend
		12. Verhältnis BT-Volumen / Boundingbox-Volumen <small>&lt;0,8</small>	Gut

Bild 50: Detaillierte Aufschlüsselung der Bauteilbewertung (eigene Darstellung)



Die Materialauswahl erfolgt über das in Bild 51 dargestellte Dialogfenster, in welchem die Materialien nach den gewünschten Eigenschaften gefiltert werden können. Dabei kann sowohl nach strikten Kriterien, wie z. B. der Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung, als auch nach Bereichen, wie z. B. einem Materialpreis zwischen 1,00 und 2,50 Euro pro Kilogramm, gefiltert werden. Die Erfassung der Wertebereiche erfolgt dabei mittels Schieberegler, welche den minimalen und den maximalen gewünschten Wert für das betrachtete Kriterium darstellen. Nach der Filterung kann der Anwender alle verbleibenden Materialien übernehmen oder die gewünschten Materialien händisch aus der Liste auswählen. Im Anschluss an eine erfolgte Suche nach bestimmten Eigenschaften kann der Filter mithilfe einer Schaltfläche zurückgesetzt werden, um Zugriff auf alle in der Datenbank hinterlegten Materialien zu erhalten.

▼ Materialien filtern Filter zurücksetzen ✕

Materialart:  ▼

Materialklasse:  ▼

Dichte:  Min: 0, Max: 283 g/cm<sup>3</sup>

**Mechanische Eigenschaften**

E-Modul:  Min: 0, Max: 1260 N/mm<sup>2</sup>

Biegemodul:  Min: 0, Max: 99 N/mm<sup>2</sup>

Zugfestigkeit:  Min: 0, Max: 126 N/mm<sup>2</sup>

Biegefestigkeit:  Min: 0, Max: 87 N/mm<sup>2</sup>

Elastizitätsgrenze:  Min: 0, Max: 89 N/mm<sup>2</sup>

Kerbschlagzähigkeit:  Min: 0, Max: 128 J/cm<sup>2</sup>

**Thermische & Elektrische Eigenschaften**

Wärmeleitfähigkeit:  Min: 0, Max: 215 W/(m·K)

Max. Dauereinsatztemperatur:  Min: 0, Max: 600 °C

Kältebeständigkeit:  Min: -200, Max: 0 °C

Wärmeausdehnungskoeffizient:  Min: 0, Max: 349 N/mm<sup>2</sup>

Durchschlagsfestigkeit:  Min: 0, Max: 98 kV/mm

Oberflächenwiderstand:  Min: 0, Max: 83 Ω

**Beständigkeit**

Feuchtaufnahme bei Normklima:

Wasseraufnahme in Wasser:

Ölbeständigkeit:

Chemikalienbeständigkeit:

Korrosionsbeständigkeit:

UV-Beständigkeit:

**Materialpreis, Einsatzzweck & Verfahren**

Materialpreis:  Min: 0, Max: 2305 €/kg

Einsatzzweck:  ▼

AM-Verfahren:  ▼

Bild 51: Filteroptionen innerhalb des Materialauswahldialogs (eigene Darstellung)

Infolge der vollständigen Erfassung aller Bauteildaten kann der Anwender das Produzenten-Matching durchführen. Die Produzenten, die über passende Fertigungsanlagen zur Herstellung des Bauteils verfügen, werden daraufhin, wie in Bild 52 zu sehen ist, in der Produzentenliste gelistet. Mit einem Klick auf einen Produzenten erhält der Anwender detaillierte Informationen zur Produktionsanlage sowie die Kontaktdaten des jeweiligen Produzenten.

Der Abnehmer des Bauteils kann nach dem Produzenten-Matching die favorisierten Produzenten auswählen und diesen die Bauteildaten zukommen lassen. Darüber hinaus kann der Abnehmer den Produzenten die dazugehörige CAD-Datei übermitteln.

## Verwaltungsfunktionen

Neben den Funktionen *Bauteilvorauswahl* und *Produzentensuche*, welche durch den Bauteilabnehmer genutzt werden, bietet die Softwarelösung den Administratoren die notwendigen *Verwaltungsfunktionen*. Zu den Verwaltungsfunktionen gehören die Anpassungen der technischen und wirtschaftlichen Bauteilbewertungsformeln, die Benutzerverwaltung, die Verwaltung der auswählbaren Materialien und die Verwaltung der hinterlegten additiven Fertigungsanlagen.

### Produzentenliste.

Die nachfolgend aufgeführten Produzenten sind technisch in der Lage, das gewünschte Bauteil zu fertigen. Sie können gewünschte Produzenten auswählen und diesen die Daten zu Ihrem Bauteil zukommen lassen.

<input checked="" type="checkbox"/> Produzent	Maschinenbezeichnung
<input checked="" type="checkbox"/> Maier & Maier GmbH	Creality Ender 3 Pro
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Creality Ender 3 Pro</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Bauteilabmaße produzierbar</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Mindestwandstärke produzierbar</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Gewünschte Oberflächenqualität produzierbar</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Grundtoleranzgrad produzierbar</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Oberflächenqualität an Hinterschnittflächen produzierbar</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Gewünschtes Material herstellbar</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Gewünschte Nacharbeitsschritte durchführbar</li> </ul> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Kontaktinformationen des Anbieters</b></p> <p>Maier &amp; Maier GmbH            Straße            12345 Ort  <a href="mailto:leonard.burg@fir.zwth-aachen.de">leonard.burg@fir.zwth-aachen.de</a></p> <p>Telefon: 1234            Mobil: 100112</p> <p><b>Zertifizierungen des Anbieters</b></p> <p>Zertifizierung 2</p> </div> </div>	
<input checked="" type="checkbox"/> DreiDe & Co KG	Zortrax Inkspire

Bauteildaten an gewählte Produzenten übermitteln

Bild 52: Darstellung der Liste passender Produzenten (eigene Darstellung)

Die Administrationsoberfläche zur Bearbeitung der Faktoren der technischen Bauteilbewertung ist in Bild 53 dargestellt. In dieser Administrationsoberfläche können die Administratoren die bei der Berechnung des Bauteil-Scores verwendeten Kriterien bearbeiten oder neue Wertebereiche hinterlegen.

Die Bearbeitungsmaske zur Anpassung der wirtschaftlichen Bewertungsformel ist analog zu der in Bild 53 aufgebaut.

## Administration.

Technische Bewertung.

Dimensionen    Material    Oberflächeneigenschaften    Mech. Belastung    Brandschutz

Sofern bei einem Bauteil mehrere Bedingungen zutreffen, siegt diejenige mit der höchsten Wertung. Die Bauteilausrichtung wird nicht beachtet.

#	Bezeichnung	Klassifizierung	Wert	Max. Breite	Max. Länge	Max. Höhe
82	<1 x 1 x 1m	Ausreichen	50	1000 mm	1000 mm	1000 mm
152	<250 x 250 x 4t	Gut	75	250 mm	250 mm	400 mm
153	<100 x 100 x 10t	Sehr gut	100	100 mm	100 mm	100 mm
154	>1000mm	Schlecht	0	9999 mm	9999 mm	9999 mm

+ Neue Option hinzufügen

Bild 53: Administrationsoberfläche der Bauteilvorauswahlkriterien (eigene Darstellung)

Bei jedem Speichervorgang der Maschinendaten erfolgt eine systemseitige Prüfung der Daten auf Vollständigkeit und Plausibilität. Bei Auffälligkeiten wird der Produzent mit einer entsprechenden Hinweismeldung auf jene aufmerksam gemacht. Zur Vermeidung von fehlerhafter Produzentenauswahl, werden die hinterlegten additiven Fertigungsanlagen erst berücksichtigt, wenn sämtliche Daten erfasst wurden.

Die Verwaltung der in der Applikation hinterlegten additiven Fertigungsanlagen, welche durch die Produzenten durchgeführt wird, erfolgt mittels der in Bild 54 (s. S. 94) dargestellten Bearbeitungsmaske. In dieser machen die Produzenten Angaben bezüglich ihrer Fertigungsfähigkeiten. Dabei können pro additive Fertigungsanlage mehrere herstellbare Materialien hinterlegt werden.

# Maschine bearbeiten.

Creality Ender 3 Pro

### Bezeichnung der Maschine

Hinterlegte, herstellbare Materialien:

▼ Polycarbonate LÖSCHEN

Interne Bezeichnung des Materials

Material

**Bauraumabmaße**

Höhe  mm  mm  mm

**Oberflächenqualität**

Grundtoleranzgrad

Herstellbare Oberflächengüte

Herstellbare Oberflächengüte an Hinterschnitten

Minimale Wandstärke  mm

**Kosten & Prozesszeit**

Maschinenstundensatz  €/h  cm<sup>3</sup>/h

Die angegebenen Daten reichen für die Berücksichtigung in der Produzentenauswahl aus.

Bild 54: Eingabemaske zur Erfassung der Produzentenfähigkeiten (eigene Darstellung)

## F. QUANTIFIZIERUNG VON BUSINESS-CASES

In Kapitel F werden im ersten Schritt relevante Geschäftsmodelle entwickelt (Kapitel F.1). Darauf aufbauend finden die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kapitel F.2) sowie die Entwicklung eines geeigneten Change-Management-Ansatzes zur Geschäftsmodelltransformation statt (Kapitel F.3).

### F.1 Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellen

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR)*

Um tragfähige Geschäftsmodelle für den LDL im Hinblick auf die Nutzung und Vermarktung der entwickelten Softwarelösung zu erarbeiten, wird zunächst eine Geschäftsmodellentwicklungsmethode ausgewählt. Dafür werden konkrete Entscheidungskriterien ausgearbeitet. Anschließend wird die methodische Vorgehensweise beschrieben. Abschließend erfolgen die Anwendung der Methode zur Entwicklung von Geschäftsmodellen und die schriftliche Zusammenfassung der entwickelten Geschäftsmodelle für die Supply-Chain-Szenarien 2, 3 und 5 (s. Kapitel D.2).

#### F.1.1 Entscheidungskriterien zur Auswahl einer Geschäftsmodellentwicklungsmethode

Die nachfolgend vorgestellten Entscheidungskriterien (EK) sind auf das Ziel des Projekts ausgerichtet; dementsprechend soll eine Geschäftsmodellentwicklungsmethode ausgewählt werden, um neue Geschäftsmodelle für den LDL in der additiven Ersatzteilerfertigung zu entwickeln. Die Kriterien lassen sich in Anforderungen an die Systematik (EK1-EK2) und Anforderungen an die Anwendung (EK3-EK6) einteilen.

##### **EK1: Methodengestützte, systematische Vorgehensweise**

Dieses Kriterium erfasst, inwiefern die Methode eine systematische Herangehensweise beinhaltet. Dazu müssen neben der Phase der Identifikation einer Geschäftsidee auch die Phasen der Entwicklung von Geschäftsmodellalternativen und der Überführung in den Markt berücksichtigt werden. Systematiken in den Methoden erhöhen die Erfolgswahrscheinlichkeit von Geschäftsmodellen.

##### **EK2: Allgemeingültiger und modularer Strukturierungsansatz**

Das Kriterium der Allgemeingültigkeit überprüft die branchenunabhängige Anwendbarkeit. Durch die Modularität wird das Ein- und Ausblenden einzelner Geschäftsmodellelemente ermöglicht.

### **EK3: Berücksichtigung des Marktumfeldes und des Wettbewerbsverhaltens**

Das zu entwickelnde Geschäftsmodell muss dem Marktumfeld und dem Verhalten der Wettbewerber entsprechend gestaltet werden. Es wird überprüft, ob das aus der Methode entstandene Geschäftsmodell die Fähigkeit besitzt, zukunftsfähig zu sein.

### **EK4: Entwicklung von alternativen Geschäftsmodellen**

Die meisten Methoden entwickeln Geschäftsmodelle, die nach der einen perfekten Lösung gestaltet sind. Die Qualität der Entscheidung für eine bestimmte Alternative hat einen großen Einfluss bei der Gestaltung von Geschäftsmodellen. Dieses Kriterium deckt somit ab, inwiefern die Methodik eine Systematik vorweist, die es erlaubt, mehrere Geschäftsmodellalternativen zu generieren. Dadurch lassen sich neue Theorien ausprobieren und diese miteinander vergleichen. Bei dem Vergleich können die vielversprechendsten Alternativen ausgewählt werden.

### **EK5: Visualisierung des finalen Geschäftsmodells**

Für ein ganzheitliches Verständnis eines Geschäftsmodells sind entscheidende, prägnante Visualisierungen vorteilhaft. Diese Visualisierungen helfen bei der Übersicht der geplanten Geschäftstätigkeit und fassen die wesentlichen Aspekte der relevanten Geschäftsmodellelemente zusammen.

### **EK6: Vorschlag und Festlegung von konkreten Maßnahmen zur Umsetzung**

Ziel dieses Kriteriums ist es, zu analysieren, ob die einzelnen Methoden konkrete Maßnahmen aufzählen, die bei einer erfolgreichen Umsetzung in neue und bestehende Märkte unterstützen.

## **F.1.2 Auswahl Geschäftsmodellentwicklungsmethode**

Anhand der Entscheidungskriterien werden verschiedene Methoden zur Entwicklung von Geschäftsmodellen miteinander verglichen (s. Bild 55, S. 97). Zu den verglichenen Methoden gehören das Business-Model-Canvas (BMC) nach OSTERWALDER U. PIGNEUR (2004), der Business-Model-Navigator (BMN) nach GASSMANN ET AL. (2014), der Ansatz nach LINDER U. CANTRELL (2000), der Ansatz nach Pramataris et al. (2001), der Ansatz nach FINK ET AL. (2002), der Ansatz nach Forzi ET AL. (2003), der Ansatz nach MIETZNER (2009), der Ansatz nach BUCHERER (2010), der Ansatz nach WIRTZ (2010), der Ansatz nach EURICH ET AL. (2013), der Ansatz nach JOHNSON (2018) und der Ansatz nach BIEGER (2011).

Im Vergleich wird die Überlegenheit des BMC nach OSTERWALDER U. PIGNEUR (2004) deutlich, auch wenn das BMC nicht alle Kriterien vollumfänglich erfüllt.

So ist das BMC z. B. nur sporadisch verknüpft und die Methode enthält keine klare Vorschrift darüber, welche Rollen und Personen in welchen Phasen eingebunden werden müssen

Entscheidungskriterien		Methoden der Geschäftsmodellentwicklung													
		Ostenwalder u. Pigneur (2004)	Gassmann et al. (2014)	Linder u. Cantrell (2000)	Pramatis et al. (2001)	Fink et al. (2002)	Forzi et al. (2003)	Mietzner (2009)	Bucherer (2010)	Wirtz (2010)	Eurich et al. (2013)	Johnson (2018)	Bieger (2011)		
EK1	methodengestützte, systematische Vorgehensweise	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
EK2	allgemeingültiger und modularer Strukturierungsansatz	●	●	◐	○	◐	◐	◐	◐	●	○	◐	◐	◐	
EK3	Berücksichtigung des Marktumfeldes und Wettbewerbsverhaltens	◐	◐	●	○	○	●	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	
EK4	Entwicklung von alternativen Geschäftsmodellen	●	●	●	◐	●	○	○	●	◐	●	◐	●	●	
EK5	Visualisierung des finalen Geschäftsmodells	●	◐	○	○	◐	○	○	○	○	◐	◐	◐	◐	
EK6	Vorschlag von konkreten Maßnahmen zur Umsetzung	●	●	◐	◐	○	○	○	○	○	◐	◐	○	○	

Bild 55: Bewertung der Geschäftsmodellentwicklungsmethoden (eigene Darstellung)

(EK1). Allerdings eignet sich das BMC gut zur Neuentwicklung von Geschäftsmodellen und die Unterteilung in neun Kernelemente erhöht die Abstraktion bei der Gestaltung von Geschäftsmodellen (EK4). Dadurch ist eine höhere Detaillierung möglich. Diese kann in verschiedenen Stadien zwar auch ein Hindernis sein, aber sie erlaubt eine tiefgehende Ausarbeitung des Geschäftsmodells. Der hohe Detaillierungsgrad unterstützt nicht nur beim Aufbau neuer Geschäftsmodelle, sondern zeigt auch noch Vorteile im Bereich der Flexibilität, der Transparenz und der Fokussierung des eigentlichen Geschäftsmodells.

Das BMC ermöglicht außerdem einen hohen Komplexitäts- und Abbildungsgrad, da es neben der Beschreibung des Geschäftsmodells auch die Beziehungen zwischen einzelnen Elementen in die Modellierung aufnimmt. Die Methode richtet den Fokus auf die Treiber des Geschäfts und trennt unwichtige Aktivitäten von essenziell wichtigen Aktivitäten. Die übersichtliche Anordnung sorgt außerdem für einen einfachen und schnell verständlichen Überblick (EK5). Die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit schaffen die Voraussetzung für einen direkten Vergleich alternativer Geschäftsmodelle.

Damit bietet das BMC einen differenzierten Ansatz, der eine an die verschiedenen Szenarien angepasste Betrachtung und Entwicklung zulässt. Im Rahmen dieses Projekts überwiegen die Vorteile des BMC und es erfüllt die meisten herangezogenen Kriterien, sodass diese Methode zur Geschäftsmodellentwicklung genutzt wird. Im weiteren Verlauf wird auch das Value-Proposition-Canvas verwendet (VPC); dieses stellt einen Teil des BMC dar.

### F.1.3 Business-Modell-Canvas und Value-Proposition-Canvas

In diesem Kapitel werden das BMC und das VPC zunächst generisch beschrieben, bevor die in den Expertenkreisen erarbeiteten Ergebnisse bezüglich der Szenarien 2, 3 und 5 (s. Kapitel D.2) erläutert und anschließend die dazugehörigen Geschäftsmodelle entwickelt werden. Dabei wurde sich auf die Szenarien 2, 3 und 5 beschränkt, da durch die Übernahme der Softwarelösung der in den Szenarien beschriebenen Rollen die größte Relevanz erzielt wird.

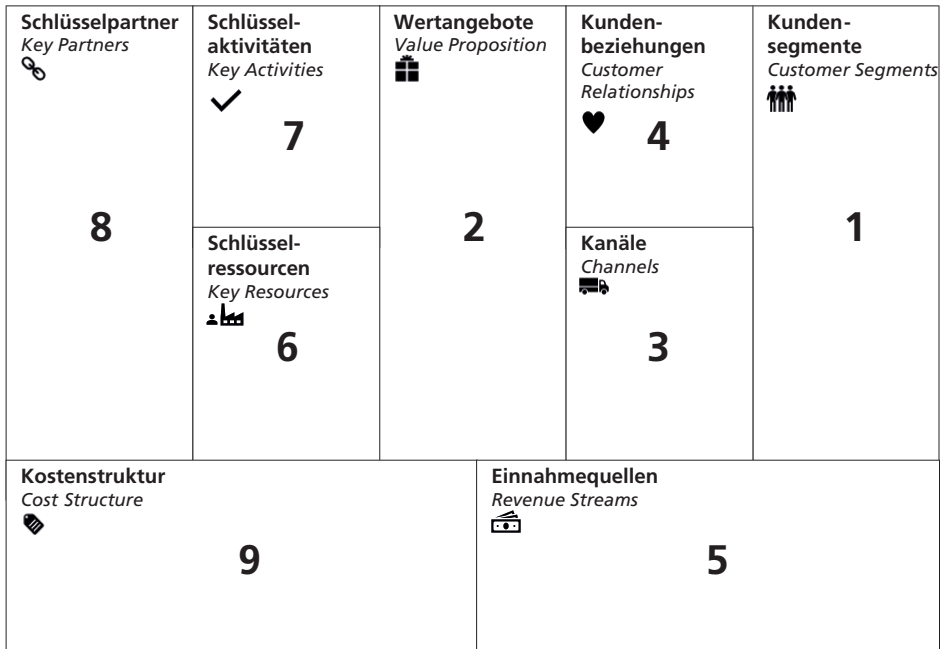


Bild 56: Business-Model-Canvas (eigene Darstellung i. A. a. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 44)



Das BMC wurde von OSTERWALDER entwickelt und 2010 in seinem gemeinsamen Buch mit PIGNEUR „Business Model Generation“ publiziert. Es ermöglicht die grafische Abbildung der Geschäftsidee und des Geschäftsmodells und zeigt, wie die Grundprinzipien der Unternehmung funktionieren. Dazu teilt es das Geschäftsmodell in die neun zentralen Elemente, die über den Erfolg einer Unternehmung entscheiden, ein. (s. GROTE u. GOYK 2018, S. 146 – 151) Die Reihenfolge, in der die einzelnen Faktoren abgearbeitet werden, ist in Bild 56 (s. S. 98) dargestellt.

### **Kundensegmente / Customer Segments:**

In diesem Element des BMC werden die Gruppen von Personen oder Organisationen beschrieben, für die ein Wert geschaffen werden soll. Mit der Zielsetzung, die Kunden besser einschätzen zu können, ist eine Gruppierung der Kunden nach gemeinsamen Bedürfnissen, gemeinsamen Verhaltensweisen oder anderen Attributen sinnvoll. (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 24 – 25)

### **Wertangebote / Value Proposition:**

Das Wertangebot legt das Paket von Produkten und Dienstleistungen fest, welches für die jeweiligen Kunden von Wert ist, indem es ein Kundenproblem löst oder ein Kundenbedürfnis erfüllt. Das Wertversprechen kann aus einzelnen Produkten und Dienstleistungen bestehen, aber auch über eine Kombination aus Produkten und Dienstleistungen entstehen. Dieser Nutzen stellt häufig den Grund dar, wieso sich Kunden für oder gegen ein Produkt oder Dienstleistungsangebot entscheiden. Nach OSTERWALDER u. PIGNEUR können quantitative (Verfügbarkeit, Preis, Kostenminimierung) sowie qualitative Kriterien (Kundenindividualisierung, Design) herangezogen werden. (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 26 – 29)

### **Kanäle / Channels:**

Der Baustein „Kanäle“ beschreibt die Kommunikationskanäle, Vertriebswege und Vertriebskanäle, über welche den Kunden das Wertangebot vermittelt wird (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 30).

### **Kundenbeziehungen / Customer Relationships:**

Kundenbeziehungen beschreiben die Art der Beziehung, die mit den verschiedenen Kundensegmenten aufgebaut und gepflegt werden soll. Der Fokus liegt dabei auf dem Kunden und darauf, wie dieser gewonnen und gehalten werden kann. Dabei wird auch bedacht, welchen Aufwand die jeweiligen Entscheidungen nach sich ziehen. Die Gestaltung der Kundenbeziehung ist ein wichtiger Bestandteil des jeweiligen Geschäftsmodells. (s. GROTE u. GOYK 2018, S. 148)

### **Einnahmequellen / Revenue Streams:**

Mit demselben Angebot lassen sich oft über mehrere Wege Erträge erzielen. Einnahmequellen können beispielsweise durch den Verkauf von Wirtschaftsgütern, durch die Erhebung einer Nutzungsgebühr oder eines Mitgliedsbeitrags, den Verleih von Gütern oder den Verkauf von Nutzungslizenzen erschlossen werden. Während durch Einmalzahlungen schnelle Einnahmen erwirtschaftet werden können, können mit Abonnements kontinuierliche Einnahmen generiert werden. Dabei können für die Einnahmequellen verschiedene Preisgestaltungsmechanismen genutzt werden. Zu den Haupttypen der Preisgestaltung gehören feste und variable Preise. (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 34 – 37)

### **Schlüsselressourcen / Key Resources:**

Beim Baustein der Schlüsselressourcen wird laut GROTE u. GOYK analysiert, welche strategisch wichtigen Ressourcen benötigt werden, um das Wertangebot zur Verfügung stellen zu können. Dabei kann es sich um physische Ressourcen, um Werkzeuge, Fabriken, Patente, Daten oder aber auch Personal und finanzielle Ressourcen handeln. (s. GROTE u. GOYK 2018, S. 149) Schlüsselressourcen können das Eigentum der Firma sein, geleast werden oder von Schlüsselpartnern bereitgestellt werden (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 38 – 39).

### **Schlüsselaktivitäten / Key Activities:**

Unter Schlüsselaktivitäten werden die für den Erfolg wichtigsten Handlungen eines Unternehmens verstanden. Die Schlüsselaktivitäten beinhalten alle zentralen Aktivitäten, die an das Wertangebot sowie an die Schlüsselressourcen gebunden sind und zu der Werterstellung beitragen. Dabei unterscheiden sich die Schlüsselaktivitäten je nach Art des Geschäftsmodells erheblich. So gehört beispielsweise für den Softwarehersteller die Softwareentwicklung zu den Schlüsselaktivitäten, während für eine Beratungsfirma das Lösen von Problemen zu den Schlüsselaktivitäten gehört. (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 40)

### **Schlüsselpartner / Key Partners:**

Unter diesem Faktor werden die Lieferanten und Partner im Netzwerk beschrieben, die externe Ressourcen und Aktivitäten einbringen und zum Gelingen des Geschäftsmodells beitragen. Das Geschäftsmodell beeinflusst die Vorteilhaftigkeit von strategischen Partnerschaften. Durch diese kann die Effektivität des Unternehmens gesteigert und Risiken zwischen den Partnern können aufgeteilt werden. Dabei können vier Arten von Schlüsselpartnerschaften unterschieden werden: Dazu gehören strategische Allianzen zwischen Nicht-Wettbewerbern, strategische Partnerschaften zwischen Wettbewerbern, Joint-Ventures zur Generierung neuer Geschäfte und Käufer-Verkäufer-Beziehungen, um eine sichere Versorgung sicherzustellen. (s. OSTERWALDER u. PIGNEUR 2011, S. 42 – 43)

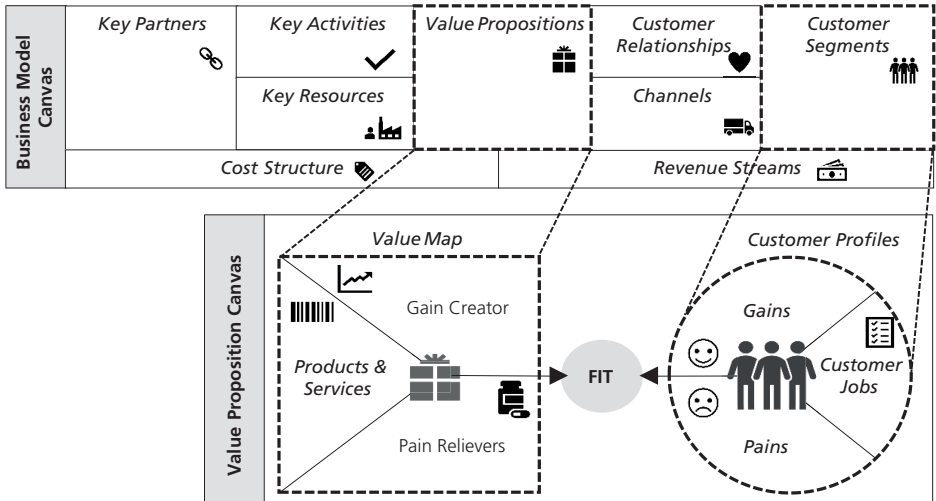


Bild 57: Value-Proposition-Canvas im Kontext des Business-Model-Canvas (eigene Darstellung)

### Kostenstruktur / Cost Structure:

Jede Dienstleistung, aber auch jede Produktion ist mit Kosten verbunden, die vor allem für Aktivitäten, für Ressourcen und für Partner im Netzwerk anfallen. Die Kostenstruktur fasst all die Kosten zusammen, die für den Betrieb eines Geschäftsmodells anfallen. Eine Übersicht über die größten und kritischsten Kostenfaktoren ermöglicht eine Optimierung der Kostenstruktur. (s. GROTE und GOYK 2018, S. 150)

In Bild 57 sind das VPC, das BMC und deren Beziehung zueinander dargestellt. Das VPC stellt einen Bestandteil des BMC dar und ist eine Methode zur detaillierteren Untersuchung der Segmente „Kundensegmente“ (eng. *Customer Segments*) und „Wertangebote“ (eng. *Value Propositions*) im BMC.

Gemäß GROTE u. GOYK werden mit dem VPC konkrete Kundenbedürfnisse analysiert, um das Wertangebot (*Value Proposition*) und damit die Produkte oder Dienstleistungen an diesen auszurichten. Dadurch sollen Lösungen für reale Kundenanforderungen generiert werden, da nicht das Produkt an sich, sondern die Aussicht zur Lösung eines Problems den Kunden zum Kauf animiert. (s. GROTE u. GOYK 2018, S. 151)

Bei der Verwendung des VPC wird zuerst entschieden, welche Kundenaufgaben (*Customer Jobs*) adressiert werden sollen. Im nächsten Schritt werden die Probleme (*Pains*) und der

Nutzen (*Gains*) des Kunden bezüglich der Kundenaufgaben (*Customer Jobs*) gesammelt. Probleme (*Pains*) sind dabei die Hindernisse des Kunden, die er zur Erfüllung seiner Aufgaben überwinden muss. Mit dem Nutzen (*Gains*) werden Mittel und Wege bezeichnet, die den Kunden befähigen, Kundenaufgaben (*Customer Jobs*) besser, schneller und effektiver zu erledigen. Im Anschluss werden Antworten auf die identifizierten Probleme (*Pains*) des Kunden erarbeitet. Dazu wird nach Problemlösern (*Pain Relievers*), welche Probleme (*Pains*) reduzieren oder eliminieren können, und nach Nutzenbringern (*Gain Creators*), welche Nutzen (*Gains*) realisieren oder fördern können, gesucht. Aus diesen Überlegungen werden mögliche Produkte oder Dienstleistungen abgeleitet, welche auf die Kundenaufgaben (*Customer Jobs*) des Kunden abgestimmt sind und diesem einen echten Mehrwert bieten. (s. GROTE u. GOYK 2018, S. 152)

### F.1.4 Anwendung Business-Modell-Canvas und Value-Proposition-Canvas

Zur Erarbeitung von tragfähigen Geschäftsmodellen für den LDL zur Nutzung und Vermarktung der entwickelten Softwarelösung und deren Funktionen werden die Anforderungen der jeweiligen Anspruchsgruppen zunächst im Rahmen von Workshops

Schlüsselpartner	Schlüsselaktivitäten	<b>Wertangebote</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bauteilvorauswahl bzw. Machbarkeitsprüfung erfolgt objektiv (Entscheidung, ob Ersatzteil additiv sinnvoll fertigbar ist)</li> <li>▪ Ausgleich von möglicherweise fehlendem Know-how der Belegschaft in Bezug auf additive Fertigung</li> <li>▪ einfache Bedienbarkeit und intuitiver Aufbau des Softwaretools</li> <li>▪ durch flexible Nutzung der additiven Fertigung ist eine Bestandsreduktion möglich</li> <li>▪ CAD-Datei ist nicht notwendig</li> </ul>	Kundenbeziehungen	<b>Kundensegmente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kunden sind Ersatzteilmachfrager</li> <li>▪ besonders relevant, wenn Ersatzteil selten nachgefragt wird, lange Vorratszeiten existieren oder eine Bauteilverbesserung durch additive Fertigung erreicht werden kann</li> </ul>
	Schlüsselressourcen		Kanäle	
Kostenstruktur			Einnahmequellen	

Bild 58: Ergebnisse des VPC-Szenarios 2 (eigene Darstellung)

in Expertenkreisen ermittelt. Dazu wird das VPC gemeinsam mit den Experten ausgefüllt. Nachdem mit dem VPC die Wertangebote und Kundensegmente in den verschiedenen Szenarien (s. Kapitel D.2) erarbeitet sind, wird das BMC für die verschiedenen Szenarien in weiteren Workshops mit Experten definiert und es werden die Geschäftsmodelle entwickelt. Dabei wurde sich auf die Szenarien 2, 3 und 5 beschränkt, da durch die Übernahme der Softwarelösung der in den Szenarien beschriebenen Rollen die größte Relevanz erzielt wird.

## Szenario 2: LDL als AM-Entscheider

In diesem Kapitel wird das Geschäftsmodell für Szenario 2 (s. Kapitel D.2.3), in welchem der LDL als AM-Entscheider auftritt, entwickelt. Dazu wird zunächst das VPC erarbeitet und anschließend darauf aufbauend werden die Elemente des BMC ausgefüllt. In Bild 58 (s. S. 104) sind die Ergebnisse des VPC zusammengefasst, während in Bild 59 die Ergebnisse der BMC-Untersuchung dargestellt sind.

<p><b>Schlüsselpartner</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technologische Experten im Bereich der additiven Fertigung zur Weiterentwicklung des Softwaretools.</li> <li>▪ Marketing-Agentur, die für <i>Google AdWords</i> eine passende Verschlagwortung vornimmt, um die Sichtbarkeit gegenüber Kunden in Suchmaschinenanfragen zu erhöhen.</li> </ul>	<p><b>Schlüsselaktivitäten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Benutzer des Softwaretools machen Angaben zum Bauteil</li> </ul> <p><b>Schlüsselressourcen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Softwaretool</li> </ul>	<p><b>Wertangebote</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bauteilvorauswahl bzw. Machbarkeitsprüfung erfolgt objektiv (Ersatzteil additiv sinnvoll fertigbar ist)</li> <li>▪ Ausgleich von möglicherweise fehlendem Know-how der Belegschaft in Bezug auf additive Fertigung</li> <li>▪ einfache Bedienbarkeit und intuitiver Aufbau des Softwaretools</li> <li>▪ durch flexible Nutzung der additiven Fertigung ist eine Bestandsreduktion möglich</li> <li>▪ CAD-Datei ist nicht notwendig</li> </ul>	<p><b>Kundenbeziehungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Der Vertrieb erfolgt über Eingabemasken der Website</li> <li>▪ kontinuierliche Weiterentwicklung des Softwaretools</li> <li>▪ Beratung bezüglich additiver Fertigung und IT</li> </ul> <p><b>Kanäle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ersatzteilmachfrager: Bewerben auf Ausschreibungen von Kunden, Kundenakquise auf Messen</li> <li>▪ Social Media (klassisch)</li> <li>▪ Werbung auf Lieferfahrzeugen</li> </ul>	<p><b>Kundensegmente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kunden sind Ersatzteilmachfrager</li> <li>▪ besonders relevant, wenn Ersatzteil selten nachgefragt wird, lange Vorratszeiten existieren oder eine Bauteilverbesserung durch additive Fertigung erreicht werden kann</li> </ul>
<p><b>Kostenstruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betrieb des Softwaretools (Hardware, IT-Kräfte, Betriebskosten, Wartung)</li> <li>▪ Unteraufträge an Experten im Bereich additiver Fertigung für X €/h</li> <li>▪ Unteraufträge an Experten im Bereich IT für X €/h</li> <li>▪ Marketingkosten</li> <li>▪ Entwicklungskosten</li> </ul>		<p><b>Einnahmequellen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ersatzteilmachfrager: Freemium begrenzt bis zu 10 Bauteilen (die Bauteilvorauswahl bzw. Machbarkeitsprüfung ist kostenfrei für bis zu 10 Bauteile). Anschließend greift das Pay-per-Use-Prinzip, wobei der Ersatzteilmachfrager pro bewertetes Bauteil X € zahlt.</li> </ul>		

Bild 59: Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung Szenario 2 – BMC-Untersuchung (eigene Darstellung)

### Kundensegmente:

Zu den Kunden in Szenario 2 gehören die Ersatzteilmachfrager, für die additiv gefertigte Bauteile grundsätzlich infrage kommen. Für Ersatzteile, welche lange auf Vorrat gehalten werden müssen oder bei welchen Bauteilverbesserungen durch die additive Fertigung erreicht werden können, ist die Übernahme der Rolle des AM-Entscheidungers durch den LDL besonders relevant.

### Wertangebote:

Die Softwarelösung bietet den beteiligten Akteuren neben einer einfachen, intuitiven Bedienbarkeit eine objektive Entscheidung, ob die additive Fertigung des zu untersuchenden Ersatzteils technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Damit kann fehlendes Know-how des Kunden in Bezug auf die additive Fertigung ausgeglichen werden. Zudem können Ersatzteilmachfrager durch die flexible Nutzung der additiven Fertigung eine Bestandsreduktion erreichen und dementsprechend Lagerkosten reduzieren.

<b>Schlüsselpartner</b>	<b>Schlüsselaktivitäten</b>	<b>Wertangebote</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identifikation eines geeigneten Produzenten (Matching-Anforderungen und Eigenschaften)</li> <li>▪ Vermittlungsmöglichkeit / Kontaktaufnahme durch das Tool</li> <li>▪ einfache Bedienbarkeit / Intuitiver Aufbau</li> <li>▪ Reduktion des Aufwands in Bezug auf die Identifikation geeigneter Produzenten</li> <li>▪ Qualitätsstandard des Tools (nur verlässliche Produzenten bieten an)</li> </ul>	<b>Kundenbeziehungen</b>	<b>Kundensegmente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kunden sind Ersatzteilmachfrager und Produzenten (additive Fertigungsverfahren)</li> <li>▪ besonders relevant, wenn Ersatzteil selten nachgefragt wird, lange Vorratszeiten existieren oder eine Bauteilverbesserung durch additive Fertigung erreicht werden kann</li> </ul>
	<b>Schlüsselressourcen</b>		<b>Kanäle</b>	
<b>Kostenstruktur</b>			<b>Einnahmequellen</b>	

Bild 60: Ergebnisse des VPC-Szenarios 3 (eigene Darstellung)

### **Kanäle:**

Die Logistikdienstleister erreichen die Ersatzteilmachfrager auf direktem Weg durch die Bewerbung auf Ausschreibungen sowie durch Kundenakquise auf Messen. Des Weiteren werden Ersatzteilmachfrager durch Mundpropaganda und Social-Media-Werbung erreicht.

### **Kundenbeziehungen:**

Der Vertrieb erfolgt in Szenario 2 ausschließlich über das Onlinetool. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Softwaretools und durch Beratung des Kunden bezüglich additiver Fertigung und IT wird die Kundenbeziehung langfristig gestärkt, um beim Kunden möglichst einen Wiederkehrereffekt zu erzeugen.

### **Einnahmequellen:**

Für den Ersatzteilmachfrager ist ein Freemium-Modell begrenzt auf bis zu zehn Bauteile vorgesehen. Damit werden die Bauteilvorauswahl bzw. die Machbarkeitsprüfung für bis zu zehn Bauteile kostenfrei angeboten. Für weitere Bauteile wird das Pay-per-Use-Prinzip angewendet. Hierbei zahlt der Ersatzteilmachfrager pro bewertetes Bauteil einen gewissen Betrag. Die genaue Höhe des Betrags wird in Abschnitt F ermittelt.

### **Schlüsselressourcen:**

In Szenario 2 stellt die Softwarelösung, mit der die wirtschaftliche und technische Sinnhaftigkeit der additiver Fertigung des Ersatzteils geprüft wird, die Schlüsselressource dar.

### **Schlüsselaktivitäten:**

Die Schlüsselaktivität in diesem Szenario ist die Angabe von Informationen zum Bauteil durch den Ersatzteilmachfrager.

### **Schlüsselpartner:**

In diesem Szenario sind Experten im Bereich der additiven Fertigung relevante Partner, welche benötigt werden, um die Softwarelösung weiterzuentwickeln. Des Weiteren ist eine Marketingagentur als strategischer Partner von Bedeutung, um die Onlinepräsenz des Tools zu erhöhen. Durch die Nutzung von Google AdWords kann eine passende Verschlagwortung vorgenommen werden und dadurch die Sichtbarkeit der Softwarelösung erhöht werden.

### **Kostenstruktur:**

Zu den Kosten, welche in diesem Szenario auf die LDL zukommen, gehören in erster Linie Kosten für den Betrieb der Softwarelösung, welche sich aus Hardware-, Betriebs-, Wartungs- und Personalkosten zusammensetzen. Zusätzliche Kosten fallen für die

<b>Schlüsselpartner</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technologische Experten im Bereich der additiven Fertigung zur Weiterentwicklung des Softwaretools.</li> <li>▪ Marketing-Agentur, die für <i>Google AdWords</i> eine passende Verschlagwortung vornimmt, um die Sichtbarkeit gegenüber Kunden in Suchmaschinenanfragen zu erhöhen.</li> <li>▪ 3D-Druck-Dienstleister (Produzenten)</li> </ul>	<b>Schlüsselaktivitäten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Benutzer des Softwaretools machen Angaben zum Bauteil.</li> <li>▪ Der Produzent kann Zusatzdienstleistungen anbieten (Konstruktion, Re-Design).</li> </ul>	<b>Wertangebote</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identifikation eines geeigneten Produzenten (Matching-Anforderungen und Eigenschaften)</li> <li>▪ Vermittlungsmöglichkeit / Kontaktaufnahme durch das Tool</li> <li>▪ einfache Bedienbarkeit / intuitiver Aufbau</li> <li>▪ Reduktion des Aufwands in Bezug auf die Identifikation geeigneter Produzenten</li> <li>▪ Qualitätsstandard des Tools (nur verlässliche Produzenten bieten an)</li> </ul>	<b>Kundenbeziehungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ der Vertrieb erfolgt über Eingabemasken der Website.</li> <li>▪ kontinuierliche Weiterentwicklung des Softwaretools</li> <li>▪ Beratung bezüglich additiver Fertigung und IT</li> </ul>	<b>Kundensegmente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kunden sind Ersatzteilmachfrager und Produzenten (additive Fertigungsverfahren)</li> <li>▪ besonders relevant, wenn Ersatzteil selten nachgefragt wird, lange Vorratszeiten existieren oder eine Bauteilverbesserung durch additive Fertigung erreicht werden kann</li> </ul>
<b>Kostenstruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betrieb des Softwaretools (Hardware, IT-Kräfte, Betriebskosten, Wartung)</li> <li>▪ Unteraufträge an Experten im Bereich additive Fertigung für X €/ h</li> <li>▪ Unteraufträge an Experten im Bereich IT für X €/ h</li> <li>▪ Marketingkosten</li> <li>▪ Entwicklungskosten</li> </ul>		<b>Einnahmequellen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produzent: Freemium für 3 Monate (x € Mitgliedschaft / Monat)</li> <li>▪ X % Provision des durchgeführten Auftragsvolumen von Produzent an Logistikdienstleister</li> <li>▪ Ersatzteilmachfrager: Pay-per-Use, pro Matching zahlt Ersatzteilmachfrager einen Betrag von X</li> </ul>		

Bild 61: Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung Szenario 3 – BMC-Untersuchung (eigene Darstellung)

Vergabe von Unteraufträgen an Experten in den Bereichen Additive Fertigung und IT an. Außerdem sind Kosten für das Marketing und Entwicklungskosten zu berücksichtigen.

### Szenario 3: LDL als Verantwortlicher für die Produzentenauswahl

In Szenario 3 (s. Kapitel D.2.4) ist der LDL für die Produzentenauswahl verantwortlich. Das entsprechende Geschäftsmodell wird in diesem Kapitel durch die Anwendung des VPC und des BMC entwickelt. In Bild 60 (s. S 104) sind die Ergebnisse des VPC zusammengefasst, während in Bild 61 die Ergebnisse der BMC-Untersuchung dargestellt sind.

#### Kundensegmente:

Die Kunden in Szenario 3 sind zum einen Produzenten, welche die additive Fertigung nutzen, und zum anderen Ersatzteilmachfrager. Für Ersatzteilmachfrager mit Ersatzteilen, welche lange auf Vorrat gehalten werden müssen oder bei welchen Bauteilverbesserungen durch die additive Fertigung erreicht werden können, ist die Softwarelösung besonders relevant.



### **Wertangebote:**

Die Softwarelösung bietet dem Ersatzteilnachfrager mithilfe des Matching-Algorithmus die Identifikation eines geeigneten Produzenten, welcher das nachgefragte Ersatzteil zum einen additiv fertigen kann und zum anderen die notwendigen Qualitätsstandards erfüllt. Zudem können Ersatzteilnachfrager durch die flexible Nutzung der additiven Fertigung eine Bestandsreduktion erreichen und dementsprechend Lagerkosten reduzieren. Von der Identifikation eines geeigneten Produzenten und der möglichen Kontaktaufnahme durch die Softwarelösung profitieren Ersatzteilnachfrager ebenso wie Produzenten. Der LDL erreicht die Ersatzteilnachfrager auf direktem Weg durch das Bewerben auf Ausschreibungen sowie durch Kundenakquise auf Messen. Die Produzenten, die ihre Dienstleistungen über die Softwarelösung anbieten möchten, können durch Onlinepräsenzen und Veröffentlichungen gefunden werden. Des Weiteren werden sowohl Ersatzteilnachfrager als auch Produzenten durch Mundpropaganda, Social-Media-Werbung und durch Werbung auf Lieferfahrzeugen des LDLs erreicht.

### **Kundenbeziehungen:**

Der Vertrieb erfolgt in Szenario 2 ausschließlich über das Onlinetool. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Softwaretools und durch Beratung des Kunden bezüglich additiver Fertigung und IT wird die Kundenbeziehung langfristig gestärkt, um beim Kunden möglichst einen Wiederkehrereffekt zu erzeugen.

### **Einnahmequellen:**

Für die Produzenten ist ein Freemium-Modell für drei Monate vorgesehen. Nach Ablauf der drei Monate zahlen die Produzenten einen monatlichen Mitgliedsbeitrag. Zusätzlich sollen die Produzenten eine Provision pro Auftrag an den LDL zahlen. Für die Ersatzteilnachfrager ist das Pay-per-Use-Modell vorgesehen; bei diesem Modell zahlt der Ersatzteilnachfrager einen bestimmten Betrag pro Matching, welches dem Ersatzteilnachfrager zur Verfügung gestellt wird. Die genaue Höhe des Mitgliedsbeitrags des Produzenten und des Betrags pro Matching wird in Abschnitt F.2 bestimmt.

### **Schlüsselressourcen:**

In Szenario 3 ist die Softwarelösung die Schlüsselressource, da damit das Matching zwischen Kundenanfrage und Fertigungsmöglichkeiten gelisteter Produzenten ermöglicht wird.

### **Schlüsselaktivitäten:**

Zu den Schlüsselaktivitäten in diesem Szenario gehört die Angabe von Informationen zum nachgefragten Ersatzteil. Außerdem kann der Produzent Zusatzdienstleistungen, wie beispielsweise das Re-Design von Ersatzteilen, anbieten.

### Schlüsselpartner:

Schlüsselpartner sind Experten im Bereich der additiven Fertigung, welche benötigt werden, um die Softwarelösung weiterzuentwickeln. Des Weiteren ist eine Marketingagentur als strategischer Partner von hoher Bedeutung, um für Google AdWords eine passende Verschlagwortung vorzunehmen, sodass die Sichtbarkeit der Softwarelösung erhöht wird. Damit die Softwarelösung betrieben werden kann, sind außerdem AM-Dienstleister, welche Angaben zu ihren additiven Fertigungsanlagen machen, wichtige Partner. Ohne die Angaben der AM-Dienstleister sind keine Maschinen in der Softwarelösung gelistet und ein Matching kann damit nicht stattfinden.

### Kostenstruktur:

Zu den Kosten, welche in diesem Szenario auf die LDL zukommen, gehören in erster Linie Kosten für den Betrieb der Softwarelösung, welche sich aus Hardware-, Betriebs-, Wartungs- und Personalkosten zusammensetzen. Zusätzliche Kosten fallen für die Vergabe von Unteraufträgen an Experten im Bereich additiver Fertigung und IT an. Außerdem sind Kosten für das Marketing und Entwicklungskosten zu berücksichtigen.

<b>Schlüsselpartner</b>	<b>Schlüsselaktivitäten</b>	<b>Wertangebote</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bauteilvorauswahl bzw. Machbarkeitsprüfung erfolgt objektiv (Entscheidung, ob Ersatzteil additiv sinnvoll fertigbar ist)</li> <li>▪ Identifikation eines geeigneten Produzenten</li> <li>▪ Vermittlungsmöglichkeit / Kontaktaufnahme durch das Tool</li> <li>▪ Ausgleich von möglicherweise fehlendem Know-how in Bezug auf additive Fertigung</li> <li>▪ einfache Bedienbarkeit / intuitiver Aufbau</li> <li>▪ durch flexible Nutzung von additiver Fertigung ist eine Bestandsreduktion möglich</li> <li>▪ LDL bedient Tool für Kunden</li> <li>▪ LDL stellt vertragliche Rahmenbedingungen sicher</li> </ul>	<b>Kundenbeziehungen</b>	<b>Kundensegmente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kunden sind Ersatzteilmachfrager und Produzenten (additive Fertigungsverfahren)</li> <li>▪ besonders relevant, wenn Ersatzteil selten nachgefragt wird, lange Vorratszeiten existieren oder eine Bauteilverbesserung durch additive Fertigung erreicht werden kann</li> </ul>
	<b>Schlüsselressourcen</b>		<b>Kanäle</b>	
<b>Kostenstruktur</b>		<b>Einnahmequellen</b>		

Bild 62: Ergebnisse des VPC-Szenarios 5 (eigene Darstellung)

## Szenario 5: LDL als Bestandsmanager

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung bezüglich Szenario 5 (s. Kapitel D.2.6) mithilfe des BMC unter Einbezug der vorangegangenen VPC-Untersuchung zusammengefasst. Zunächst sind die Ergebnisse des VPC in Bild 62 (s. S. 108) dargestellt. Im Anschluss sind die übrigen erarbeiteten Bestandteile des BMC, welche zur Entwicklung des Geschäftsmodells definiert wurden, in Bild 63 erkennbar.

### Kundensegmente:

Die Kunden der Softwarelösung sind zum einen Produzenten, welche die additive Fertigung nutzen, und zum anderen Ersatzteilnachfrager. Für Ersatzteilnachfrager mit Ersatzteilen, welche lange auf Vorrat gehalten werden müssen oder bei welchen Bauteilverbesserungen durch die additive Fertigung erreicht werden können, ist die Softwarelösung besonders relevant.

<b>Schlüsselpartner</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologische Experten im Bereich der additiven Fertigung zur Weiterentwicklung des Softwaretools.</li> <li>Marketing-Agentur, die für Google AdWords eine passende Verschlagwortung vornimmt, um die Sichtbarkeit gegenüber Kunden in Suchmaschinenanfragen zu erhöhen.</li> <li>3D-Druck-Dienstleister (Produzent)</li> <li>externe Transportdienstleister bei Bedarf</li> </ul>	<b>Schlüsselaktivitäten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Der LDL kann Zusatzdienstleistungen an Produzenten vermitteln (z. B. Konstruktion, Re-Design)</li> <li>Der LDL kann Zusatzdienstleistungen anbieten (z. B. LDL macht Angaben zum Bauteil, sodass für den Ersatzteilnachfrager kein Bedienungsaufwand nötig ist)</li> </ul> <b>Schlüsselressourcen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Softwaretool</li> <li>Warehousing-Know-how (LDL)</li> </ul>	<b>Wertangebote</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteilvorauswahl bzw. Machbarkeitsprüfung erfolgt objektiv (Entscheidung, ob Ersatzteil additiv sinnvoll fertigbar ist)</li> <li>Identifikation eines geeigneten Produzenten</li> <li>Vermittlungsmöglichkeit / Kontaktaufnahme durch das Tool</li> <li>Ausgleich von möglicherweise fehlendem Know-how in Bezug auf additive Fertigung</li> <li>einfache Bedienbarkeit / intuitiver Aufbau</li> <li>durch flexible Nutzung von additiver Fertigung ist eine Bestandsreduktion möglich</li> <li>LDL bedient Tool für Kunden</li> <li>LDL stellt vertragliche Rahmenbedingungen sicher</li> </ul>	<b>Kundenbeziehungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>viel engere Beziehung zum Kunden</li> <li>Vertrauensverhältnis zum Kunden (Ersatzteilnachfrager)</li> </ul> <b>Kanäle</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ersatzteilnachfrager: Bewerben auf Ausschreibungen von Kunden, Kundenakquise auf Messen (Fokus auf persönlichen Kontakt)</li> <li>Empfehlungen, Mundpropaganda</li> <li>Produzent: Online Präsenz, VO</li> <li>Social Media (klassisch)</li> <li>Werbung auf Lieferfahrzeugen</li> </ul>	<b>Kundensegmente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kunden sind Ersatzteilnachfrager und Produzenten (additive Fertigungsverfahren)</li> <li>besonders relevant, wenn Ersatzteil selten nachgefragt wird/lange Vorratszeiten existieren oder eine Bauteilverbesserung durch additive Fertigung erreicht werden kann</li> </ul>
<b>Kostenstruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Transportmittelkosten</li> <li>Lagerhaltungskosten</li> <li>Betrieb des Softwaretools (Hardware, IT-Kräfte, Betriebskosten, Wartung)</li> <li>Unteraufträge an Experten im Bereich additive Fertigung für X € / h</li> <li>Unteraufträge an Experten im Bereich IT für X € / h</li> <li>Logistik MA</li> <li>24/7 Verfügbarkeit</li> <li>Marketingkosten</li> <li>Entwicklungskosten</li> </ul>		<b>Einnahmequellen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Produzent: Freemium für 3 Monate (x € Mitgliedschaft / Monat)</li> <li>X % Provision des durchgeführten Auftragsvolumen von Produzent an Logistikdienstleister</li> <li>Ersatzteilnachfrager: Pay-per-Use, pro Matching zahlt Ersatzteilnachfrager einen Betrag von X €</li> <li>Ersatzteilnachfrager: Für 24/7 Verfügbarkeit des LDL zahlt Ersatzteilnachfrager einen Betrag von X € / Monat (Flatrate)</li> <li>Ersatzteilnachfrager: angebotsbasierter Preis für eine Bestandsprüfung beim Kunden vor Ort (Menge, Art, ...), um zu prüfen welche Teile additiv fertigbar sind und welche nicht</li> </ul>		

Bild 63: Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung Szenario 5 – BMC-Untersuchung (eigene Darstellung)

### **Wertangebote:**

Die Softwarelösung bietet den beteiligten Akteuren neben einer einfachen, intuitiven Bedienbarkeit spezifische Leistungsversprechen. Den Ersatzteilnachfragern wird durch die Softwarelösung eine objektive Entscheidung bereitgestellt, ob das zu untersuchende Ersatzteil technisch und wirtschaftlich sinnvoll fertigbar ist. Zudem können sie durch die flexible Nutzung der additiven Fertigung eine Bestandsreduktion erreichen und entsprechende Lagerkosten reduzieren. Der LDL bietet den Ersatzteilnachfragern zusätzliche Hilfe bei der Nutzung der Softwarelösung an. Von der Identifikation eines geeigneten Produzenten und der möglichen Kontaktaufnahme durch die Softwarelösung profitieren Ersatzteilnachfrager ebenso wie Produzenten.

### **Kanäle:**

Die Logistikdienstleister erreichen die Ersatzteilnachfrager, wie auch in den Szenarien 2 und 3, auf direktem Weg durch das Bewerben auf Ausschreibungen sowie durch Kundenakquise auf Messen. Die Produzenten, die ihre Dienstleistungen über die Softwarelösung anbieten möchten, sollen durch Onlinepräsenzen und Veröffentlichungen gefunden werden. Des Weiteren werden sowohl Ersatzteilnachfrager als auch Produzenten durch Mundpropaganda, Social-Media-Werbung und durch Werbung auf Lieferfahrzeugen des LDLs erreicht.

### **Kundenbeziehungen:**

Die Kundenbeziehungen und die Zusammenarbeit zwischen dem LDL und den Ersatzteilnachfragern werden durch den Mehrwert, welchen die LDL ihren Kunden als Bestandsmanager bieten können, verbessert. Hierbei muss der Ersatzteilnachfrager dem LDL gegenüber initial jedoch ein hohes Maß an Vertrauen entgegenbringen.

### **Einnahmequellen:**

Für die Produzenten ist ein Freemium-Modell für drei Monate vorgesehen, nach dessen Ablauf sie einen monatlichen Mitgliedsbeitrag zahlen. Zusätzlich soll eine Provision pro Auftrag an den LDL gezahlt werden. Für die Ersatzteilnachfrager sind drei Bezahlmodelle vorgesehen: Das Pay-per-Use-Modell sieht die Zahlung eines Betrags pro Matching, welches dem Ersatzteilnachfrager zur Verfügung gestellt wird, vor. Weiterhin soll eine Flatrate, welche eine 24/7-Verfügbarkeit der Softwarelösung und des LDLs sicherstellt, angeboten werden. Darüber hinaus wird das Leistungsangebot durch Zusatzdienstleistungen des LDLs ergänzt. Eine Möglichkeit ist eine detaillierte Bestandsprüfung beim Ersatzteilnachfrager. Hierbei würde der LDL die Bedienung der Softwarelösung übernehmen. Der Preis für solch eine Zusatzdienstleistung ist von der Menge und Art der Ersatzteile abhängig und damit situationsspezifisch zu setzen.

### Schlüsselressourcen:

Zu den Schlüsselressourcen des LDLs gehören zum einen die Softwarelösung selbst und zum anderen das Know-how im Kontext der Lagerlogistik.

### Schlüsselaktivitäten:

Schlüsselaktivitäten der LDL sind Zusatzdienstleistungen, wie die Konstruktion und das Re-Design von additiv herstellbaren Ersatzteilen, die vom LDL an Produzenten vermittelt werden. Zudem könnte der LDL in Form einer Zusatzdienstleistung in Abstimmung mit dem Ersatzteilnachfrager selbständig notwendige Angaben in der Softwarelösung vornehmen. Für den Ersatzteilnachfrager würde damit kein Bedienungsaufwand in der Softwarelösung anfallen.

### Schlüsselpartner:

Schlüsselpartner für den LDL sind Experten im Bereich der additiven Fertigung, welche benötigt werden, um die Softwarelösung weiterzuentwickeln. Des Weiteren ist eine Marketingagentur als Partner von Bedeutung, um für *Google AdWords* eine passende Verschlagwortung vorzunehmen, sodass die Sichtbarkeit der Softwarelösung erhöht wird. Damit die Softwarelösung betrieben werden kann, sind außerdem AM-Dienstleister als Produzenten sowie externe Transportdienstleister wichtige Partner.

### Kostenstruktur:

Zu den Kosten, welche auf den LDL zukommen, gehören Transportmittel- und Lagerhaltungskosten, Kosten für Unteraufträge, welche an Experten aus dem Bereich additiver Fertigung oder an IT-Experten vergeben werden, Logistikkosten für Mitarbeiter und Kosten, welche durch die 24/7-Verfügbarkeit entstehen. Zudem entstehen Kosten für den Betrieb der Softwarelösung. Diese setzen sich aus Hardware-, Betriebs-, Wartungs- und Personalkosten zusammen. Weiterhin sind Marketing- und Entwicklungskosten zu berücksichtigen.

## F.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP), Christian Sander, Raphael Hofstädter, Florian Hennecke (ALSTOM), Lars Schott (CompriseTec)*

In Kapitel F.2 findet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung statt. Hierbei wird zunächst das Marktpotenzial kalkuliert und darauf aufbauend werden Einnahmen, Kosten und die Gewinnschwelle zum Einsatz der Softwarelösung abgeschätzt.

## F.2.1 Marktpotenzial

Die entwickelte Softwarelösung bietet verschiedene Ansätze der Umsatzgenerierung. Um eine Abschätzung möglicher Einnahmen zu liefern, wird das Marktpotenzial auf Grundlage einer Literaturrecherche ermittelt. Es werden zwei Ansätze verfolgt, die eine Abschätzung liefern sollen, wie viele Bauteile über die Softwarelösung analysiert und hinsichtlich des additiven Potenzials bewertet bzw. mit einem Produzenten vermittelt werden.

### Bauteilbewertung

Die Funktion der Softwarelösung, das additive Potenzial eines Bauteils zu analysieren und zu bewerten, kann dem Kunden direkt über eine Online-Plattform zur Verfügung gestellt werden. Im einfachsten Fall ist eine Zahlung des Kunden pro analysiertes Bauteil vorgesehen. Mögliche Zahlungsmodelle, in welchen beispielsweise erst mit dem zweiten Bauteil eine Zahlung fällig wird, werden vorerst nicht berücksichtigt. Die möglichen Einnahmen sind also direkt von der Anzahl der über die Plattform laufenden Bauteile abhängig. Um zu ermitteln, wie viele Bauteile über eine solche Onlineplattform analysiert werden, wird auf zwei verschiedene Literaturquellen zurückgegriffen. Mithilfe der Literaturquellen wird vorerst auf zwei verschiedenen Wegen der für die Online-Plattform relevante Gesamtumsatz mit AM-Bauteilen am deutschen Markt ermittelt.

### Ansatz 1: Globaler AM-Umsatz (konservativ)

Für eine konservative Abschätzung der Anzahl an Bauteilen, welche in der Softwarelösung analysiert werden sollen, wird der globale Umsatz mit gefertigten additiven Bauteilen als Datenbasis genommen. Im Dienstleistungsgeschäft zur Auftragsfertigung additiver Bauteile wurde im Jahr 2016 ein Umsatz von 1.863 Millionen Euro (2.173 Millionen US-Dollar) und im Jahr 2017 ein Umsatz von 2.241 Millionen Euro (2.690 Millionen US-Dollar) generiert (s. WOHLERS ASSOCIATES 2018). Unter der Annahme eines linear fortgeführten Umsatzanstiegs und unter Berücksichtigung des Währungskurses im jeweils betrachteten Kalenderjahr steht im Jahr 2019 ein Umsatz von 3.538 Millionen Euro (3.970 Millionen US-Dollar) an. In diesen sind alle additiv gefertigten Bauteile im Rahmen einer Dienstleistungsfertigung einbezogen. Nicht mit einbezogen sind Bauteile, welche indirekt additiv gefertigt werden sowie konzerninterne Fertigung. Die indirekte additive Fertigung meint dabei die Fertigung eines Werkzeugs oder einer Form, mit dessen Hilfe das eigentliche Bauteil produziert werden kann. Zur Abschätzung des in Deutschland anfallenden Anteils am globalen AM-Umsatz, wird der prozentuale Anteil der in Deutschland installierten Industrieanlagen von 8,4 Prozent im Vergleich der weltweit installierten Anlagen herangezogen (s. WOHLERS ASSOCIATES 2018). Der genaue Rechenweg kann anhand von Bild 64 (s. S. 113) nachvollzogen werden.

Anhand bisheriger Auftragsfertigungen im Tagesgeschäft einiger Konsortialpartner, wird der mittlere Wert eines additiven Bauteils auf 200 Euro geschätzt. Der Anteil an zu fertigenden Bauteilen, welche auf bislang am Markt verfügbaren Plattformen beauftragt werden, wird auf 3 Prozent geschätzt. Dabei berücksichtigt werden Plattformen, welche eine Vermittlung von Druckdienstleistungen vornehmen oder auch als Portal zur Auftragsannahme der hauseigenen Fertigung genutzt werden. Da die entwickelte Softwarelösung gegenüber bestehenden Plattformen deutliche funktionale Kundenvorteile bietet, wird angenommen, dass ein hoher Marktanteil an über Plattformen kommunizierten Bauteilen von 15 Prozent erreicht wird. Unter den getroffenen Annahmen ergibt sich ein potenzieller Umschlag an Bauteilen in der Softwarelösung von 8 916 Bauteilen pro Jahr.

Auch wenn die getroffenen Annahmen nach Möglichkeit über Literaturrecherche geprüft und mit betriebsinternen Zahlen der Konsortialpartner verglichen wurden, so ist die ermittelte Anzahl an Bauteilen stark von einem stabilen Marktumfeld abhängig. Eine starke Schwankungsbreite der getroffenen Annahmen ist wahrscheinlich.

Beschreibung	Wert	Einheit
Umsatz AM-Bauteile (Primärmarkt) als Dienstleistung 2019	3.538.175.026	EUR / a
Marktanteil AM-Bauteile (Primärmarkt) als Dienstleistung in DE	8,4	%
Umsatz AM-Bauteile (Primärmarkt) als Dienstleistung 2019 DE	297.206.702	EUR / a
Mittlerer Wert eines AM-Bauteils	200,00	EUR / BT
Anzahl AM-Bauteile gesamt	1.486.034	BT / a
Marktabdeckung Online-Plattformen	4	%
Anzahl AM-Bauteile auf Online-Plattformen gesamt	59.441	BT / a
Marktabdeckung des Tools: Anzahl Anfragen / AM-Bauteile auf Online-Plattformen gesamt	15	%
Anzahl AM-Bauteile für Softwarelösung	8.916	BT / a

Bild 64: Berechnung der Anzahl zu analysierender Bauteile in der Softwarelösung – Ansatz 1

## Ansatz 2: Ersatzteilumsatz in Deutschland (vorsichtig optimistisch)

In einem zweiten Ansatz dient der Umsatz von 1.900.000 Euro des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland als Grundlage (s. STATISTISCHES BUNDESAMT 2018, S. 549). Der prozentuale Anteil von 33 Prozent am Gesamtumsatz der Sparten Maschinenbau, Kraftwagen, Kraftwagenteile und sonstiger Fahrzeugbau (s. STATISTISCHES BUNDESAMT 2018, 549 ff.) sind für die additive Fertigung von gesondertem Interesse. Insbesondere sind damit die Branchen der Automobilindustrie, Luftfahrt und Schienenverkehr mit abgebildet. Sparten wie z. B. die Medizintechnik oder Haushaltstechnik sind aus Mangel an statistischer Auswertung jedoch nicht erfasst. Es ergibt sich ein Umsatz der hierfür relevanten Sparten von 627.000 Millionen Euro. Um den Umsatzanteil mit Ersatzteilen zu ermitteln, wird in einem nächsten Schritt der Anteil des After-Sales-Umsatzes am Gesamtumsatz eines Unternehmens ermittelt. Der Anteil des After-Sales-Umsatzes wird im Maschinenbau mit 35 Prozent (s. WIENHOLDT 2011, S. 2), in der Bahnindustrie mit 60 Prozent (s. NEUMANN u. KRIPPENDORF 2016, S. 97), in der Automobilindustrie mit 25 Prozent (s. McKinsey&Company 27.08.2018) angenommen. Unter Berücksichtigung, dass in der gesamten Fertigungsindustrie ein durchschnittlicher Anteil des After-Sales-Umsatzes von 20 bis 30 Prozent (s. BARKAWI ET AL. 2006) vorliegt, werden die Werte zu einem einzigen Parameter von 35 Prozent zusammengezogen. Der genaue Rechenweg kann anhand Bild 65 nachvollzogen werden.

Beschreibung	Wert	Einheit
Umsatz des verarbeitenden Gewerbes relevanter Sparten in DE	627.000.000.000	EUR / a
Anteil After-Sales-Umsatzes am Gesamtumsatz	35	%
After-Sales-Umsatz	219.450.000.000	EUR / a
Umsatzanteil von Ersatzteilen am After-Sales-Umsatz (abzüglich After-Sales-Dienstleistungen)	60	%
Ersatzteilumsatz (abzüglich After-Sales-Dienstleistungen)	131.670.000.000	EUR / a
Mittlerer Wert eines Ersatzteils	200	EUR / ET
Anzahl Ersatzteile gesamt	658.350.000	ET / a
Marktabdeckung Online-Plattformen gesamt	0,4	%
Anzahl Ersatzteile auf Online- Plattformen gesamt	2.633.400	ET / a



Marktabdeckung des Tools: Anzahl Anfragen / # Ersatzteile auf Online-Plattformen gesamt	15	%
Anzahl Ersatzteile für Softwarelösung	395.010	ET / a

Bild 65: Berechnung der Anzahl zu analysierender Bauteile in der Softwarelösung – Ansatz 2

Der Umsatzanteil von Ersatzteilen am After-Sales-Umsatzes nach Abzug von After-Sales-Dienstleistungen wird mit 60 Prozent angenommen (s. WIENHOLDT 2011, S. 2). Analog zum vorigen Ansatz wird der mittlere Wert eines Ersatzteils auf 200 Euro geschätzt. Da im Beschaffungswesen von Ersatzteilen die additive Fertigung nur eine Alternative neben konventionellen Fertigungsverfahren ist, wird der potenzielle Anteil von Ersatzteilen, die über eine Online-Plattform beschafft werden, mit 0,4 Prozent angenommen. Unter Berücksichtigung eines Marktanteils von 15 Prozent ergibt sich ein potenzieller Umschlag an Bauteilen in der Softwarelösung von 395 010 Ersatzteilen pro Jahr.

### Einordnung der Ansätze 1 und 2

Es stehen nun zwei Ansätze zur Ermittlung der Anzahl zu erwartender Bauteile, welche über die Softwarelösung analysiert werden, zur Verfügung. Im ersten Ansatz wird anhand des bestehenden additiven Marktumfeldes ermittelt, wie hoch der Marktanteil einer eigenen Plattform ausfallen könnte. Dabei bleiben Effekte wie die Anwendbarkeit der entwickelten Lösung auf ein deutlich weiter gefasstes Bauteilspektrum weitgehend unberücksichtigt. Die Softwarelösung ist insbesondere in der Lage, auf Grundlage eines noch nicht AM-optimierten Bauteils, ein Analyseergebnis zu liefern. Die Grundgesamtheit der Zielgruppe ist also signifikant größer einzuschätzen, als der bestehende Dienstleistungsmarkt additiv gefertigter Bauteile.

Bei der Entwicklung der Softwarelösung wurde insbesondere berücksichtigt, die Einstiegshürden in die additive Fertigungstechnologie für den Ersatzteilmarkt deutlich zu senken. Entsprechend wird im zweiten Ansatz zur Ermittlung der Anzahl zu erwartender Bauteilanalysen in der Softwarelösung der Ersatzteilmarkt beleuchtet. Trotz deutlicher Erweiterung der Zielgruppe ist die resultierende Bauteilanzahl nicht als obere Abschätzung zu verstehen, da beispielsweise einige relevante Sparten unberücksichtigt bleiben.

Zur Einordnung, ob die ermittelten Größenordnungen den Markt korrekt widerspiegeln, kann jeweils die ermittelte Gesamtanzahl an Bauteilen auf Online-Plattformen mit Literaturwerten verglichen werden. Die ermittelte Anzahl an Bauteilen auf Online-Plattformen im derzeitigen AM-Marktumfeld von 59 441 Bauteilen pro

Jahr im Jahr 2019 korrespondiert mit vergleichbaren Analysen (vgl. ~ 40.000 BT / a über Online-Plattformen in Deutschland 2018 (s. BUKHOLT ET AL. Q1/ 2019, S. 12). Unter der Experteneinschätzung, dass der derzeitige Anteil der additiven Fertigung an der Gesamtheit produzierter Bauteile von < 0,1 Prozent auf ~ 1 Prozent ansteigen könnte, ist eine Steigerung der Gesamtzahl von Bauteilen bzw. Ersatzteilen auf Online-Plattformen auf 594 410 Ersatzteilen pro Jahr plausibel (s. BUKHOLT ET AL. Q1/ 2019, S. 9).

Die andauernde dynamische Entwicklung des Markt- und Technologieumfeldes der additiven Fertigung muss bei der Betrachtung der kalkulierten Ergebnisse stets berücksichtigt werden. Sowohl der stetige Fortschritt der industriellen Reife als auch diskontinuierliche Entwicklungen in der Fertigungstechnologie können die Anzahl der Bauteile für die Softwarelösung beeinflussen.

Abschließend wird für das Bauteilbewertungstool ein Fallbeispiel mit dem Konsortialpartner ALSTOM Transport Deutschland GmbH, wie in Bild 66 dargestellt, aufgezeigt.

Beschreibung	Wert	Einheit
Umsatz Ersatzteile 2019	12.500.000	EUR / a
mittlerer Wert eines Ersatzteils	200	EUR / AT
Anzahl Ersatzteile gesamt	62.500	ET / a
Anteil Ersatzteile mit Lieferschwierigkeiten oder anderer AM-Relevanz	2	%
Anzahl Ersatzteile für AM gesamt	1.250	ET/ a
Marktabdeckung des Tools: Anzahl Anfragen / # Ersatzteile auf Online-Plattformen gesamt	100	%
Anzahl Ersatzteile für Softwarelösung	658.350.000	ET / a

Bild 66: Berechnung der Anzahl zu analysierender Bauteile in der Softwarelösung – Fallbeispiel ALSTOM Transport Deutschland GmbH

Ausgehend von einem Umsatz an Ersatzteilen im Jahr 2019 über 12,5 Millionen Euro und der Annahme, dass 2 Prozent der zu beschaffenden Ersatzteile konventionell nicht lieferbar sind oder gezielt auf eine additive Fertigung geprüft werden sollen, ergibt sich eine potenzielle Anzahl an Ersatzteilen für die Softwarelösung von 1 250 Teilen pro Jahr. Dabei wird angenommen, dass alle relevanten Bauteile in der Softwarelösung analysiert werden.

Dieses Beispiel zeigt auf, dass das Potenzial möglicher additiver Bauteile im aktuellen Marktumfeld nicht voll ausgeschöpft wird. Des Weiteren stellt es eine Orientierungsgröße dar, wenn die Softwarelösung als konzernweite Software großer industrieller Unternehmen zum Einsatz kommt.

### **Produzenten-Matching**

Die Funktion der Softwarelösung, ein additiv fertiges Bauteil an einen möglichen Produzenten zu vermitteln, wird von der Bauteilbewertungsfunktion getrennt betrachtet. Der Umsatz, welcher mit dem Produzenten-Matching realisiert werden kann, ist von der Anzahl an Bauteilvermittlungen und der Anzahl an Produzenten abhängig.

### **Anzahl an Bauteilvermittlungen**

Basierend auf den für die Bauteilbewertung ermittelten Anzahl an Bauteilen für die Softwarelösung findet eine Abschätzung der potenziellen Vermittlung von Bauteilanfragen an mögliche Produzenten statt. Dabei ist unerheblich, ob es zu einer tatsächlichen Beauftragung des Produzenten kommt, da eine Bepreisung der hier beschriebenen Dienstleistung bei einer unter technischen Aspekten erfolgreichen Vermittlung stattfindet.

Wie in Bild 67 (s. S. 118) dargestellt, wird für die Vermittlung vorausgesetzt, dass eine positive Bewertung der additiven Fertigbarkeit vorliegt. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit einer positiven Bewertung bei Bauteilen, die bereits für die additive Fertigung vorgesehen sind, deutlich höher einzuschätzen, als wenn Ersatzteile im Allgemeinen betrachtet werden. Auch theoretisch fertigmachbare Bauteile können unter Umständen keinem Produzenten zugeordnet werden. Entsprechend den gewählten Ansätzen ergibt sich eine Anzahl potenzieller Vermittlungen von 7 222 bzw. 17 775 Bauteilen. Im Fallbeispiel der *ALSTOM Transport Deutschland GmbH* können 56 Ersatzteile vermittelt werden.

Beschreibung	Einheit	Globaler AM-Umsatz	Ersatzteile in DE	Ersatzteile im Fallbeispiel
Anzahl Bauteile für Softwarelösung	EUR / a	8.916	395.010	1 250
Anteil positiver AM-Bewertung	%	90	5	5
Anzahl Bauteile für Vermittlung	EUR / a	8.025	19.751	63
Anteil Anfragen mit passendem Produzenten	%	90	90	90
Anzahl (technisch) erfolgreicher Vermittlung	EUR / a	7.222	17.775	56

Bild 67: Berechnung (technisch) erfolgreicher Bauteilvermittlungen

### Anzahl Produzenten

Die vom Kunden generierten Umsätze können durch Beiträge der auf der Online-Plattform teilnehmenden Produzenten ergänzt werden. Neben dem angebotenen Fertigungsportfolio des Produzenten ist dabei die Anzahl der auf der Plattform angemeldeten Produzenten relevant.

In Deutschland sind laut *Statistischem Bundesamt* 2,5 Millionen Unternehmen im produzierenden Gewerbe oder als Dienstleister tätig. Davon sind 93 Prozent mit einem Zugang zum Internet ausgestattet, wovon 20 Prozent mehr als 9 Beschäftigte aufweisen. Davon verkaufen 17 Prozent additiv gefertigte Bauteile. Es ergibt sich eine Anzahl von 79 050 Unternehmen in Deutschland, welche additiv gefertigte Bauteile verkaufen. (s. STATISTISCHES BUNDESAMT 2019, S. 523 ff.)

Unter der Annahme, dass 10 Prozent dieser Unternehmen die Produktion der Bauteile auch als Dienstleistung anbieten und sich 1 Prozent dieser Unternehmen auf der Online-Plattform als Produzent zur Verfügung stellen, sind 79 Produzenten auf der Plattform gelistet (s. Bild 68, S. 119).

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl Unternehmen mit Verkauf von AM-Bauteilen in Deutschland	79 950	-
Anteil Unternehmen mit Verkauf von AM-Bauteilen als Dienstleistung	10	%
Anzahl AM-Produzenten gesamt	7 905	-
Anteil AM-Produzenten in Softwarelösung	1	%
Anzahl AM-Produzenten in Softwarelösung	79	-

Bild 68: Berechnung der Anzahl an Produzenten in der Softwarelösung

## F.2.2 Einnahmen

Auf Basis des vorab ermittelten Marktpotenzials können Szenarien zur Generierung von Einnahmen entwickelt werden. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit stehen verschiedene Einnahmequellen zur Verfügung. Die Funktionen des Softwaretools werden dabei getrennt voneinander betrachtet.

### Bauteilbewertung

Für die Durchführung einer Analyse und Bewertung wird pro Bauteil eine Vergütung in Rechnung gestellt. Gemäß der vorherigen Marktanalyse können bei einem Preis von 1,50 Euro pro Bauteil Umsätze von 13.374 Euro bzw. 592.515,00 Euro generiert werden (s. Bild 69). Der Betrag von 1,50 EUR pro Bauteilbewertung ist eine erhebliche Kostenreduktion im Vergleich zu den potenziell anfallenden Personalkosten, die bei einer Bauteilbewertung durch Experten der additiven Fertigung anfallen würden.

Beschreibung	Einheit	Globaler AM-Umsatz	Ersatzteile in DE	Ersatzteile im Fallbeispiel
Anzahl Bauteile für Softwaretool	BT / a	8.916	395.010	1.250
Preis pro Bauteil	EUR / BT	1,5	1,5	1,5
Einnahmen aus Bauteilbewertung	EUR / a	13.374	592.515	1.875

Bild 69: Einnahmen aus Bauteilbewertung

## Produzenten-Matching

Für die Vermittlung von Produktionsaufträgen sind drei Einnahmequellen vorgesehen. Bei erfolgreicher Vermittlung eines Produzenten werden bei einem Vermittlungspreis von 25,00 Euro pro Bauteil 180.553 Euro bzw. 444.386 Euro Umsatz generiert (s. Bild 70). Der Vermittlungspreis von 25,00 EUR stellt dabei eine signifikante Kostenreduktion gegenüber den potenziellen Personalkosten dar, die durch den Zeitaufwand bei der Suche nach einem geeigneten Produzenten entstehen würden.

Beschreibung	Einheit	Globaler AM-Umsatz	Ersatzteile in DE	Ersatzteile im Fallbeispiel
Anzahl (technisch) erfolgreicher Vermittlung	BT / a	7.222	17.775	56
Preis pro Bauteil	EUR / BT	25,00	25,00	25,00
Einnahmen aus Bauteilvermittlung	EUR / a	180.553	444.386	1.406

Bild 70: Einnahmen aus Produzenten-Matching (Bauteilnachfrager)

Die zweite Einnahmequelle gemäß dem aufgestellten Geschäftsmodell ist eine provisionsbasierte Belastung des Produzenten bei Auftragsvergabe, wie in Bild 71 dargestellt. Es wird angenommen, dass 20 Prozent der technisch erfolgreichen Vermittlungen zu einer Auftragsvergabe führen. Bei einer Provision von 5 Prozent in Relation zum Auftragsvolumen, ergeben sich Umsätze von 14.444 Euro bzw. 35.551 Euro.

Beschreibung	Einheit	Globaler AM-Umsatz	Ersatzteile in DE	Ersatzteile im Fallbeispiel
Anzahl (technisch) erfolgreicher Vermittlung	BT / a	7.222	17.775	56
Anteil erteilter Fertigungsaufträge	%	20	20	20
Anzahl Fertigungsaufträge	BT / a	1.444	3.555	11
Mittlerer Wert eines Bauteils	EUR / BT	200	200	200
AM-Auftragsvolumen	EUR / a	288.885	711.018	2.250
Provisionsanteil	%	5	5	5
Einnahmen aus Bauteilvermittlung	EUR / a	14.444	35.55	113

Bild 71: Einnahmen aus Produzenten-Matching (Produzent): Provision

Die dritte Einnahmenquelle stellt die Jahresgebühr für Produzenten dar. Mit einem Jahresbeitrag von 120 Euro werden jährlich 9.486 Euro Einnahmen generiert (s. Bild 72).

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl AM-Produzenten in Softwaretool	79	-
Jahresbeitrag	120	EUR / a
Einnahmen aus Jahresbeitrag	9.486	EUR / a

Bild 72: Einnahmen aus Produzenten-Matching (Produzent): Jahresbeitrag

In der Summe ergeben sich dadurch beim globalen AM-Umsatz Einnahmen in Höhe von 204.483 Euro. Beim Rechenansatz Ersatzteile in DE ergeben sich Einnahmen von 489.423 Euro (s. Bild 73).

Beschreibung	Einheit	Globaler AM-Umsatz	Ersatzteile in DE	Ersatzteile im Fallbeispiel
Summe der Einnahmen Produzenten-Matching & Beiträge	BT / a	204.483	489.423	11.005

Bild 73: Summe der Einnahmen aus Produzenten-Matching und Beiträgen

### F.2.3 Kosten

Basierend auf den Annahmen der Einnahmestruktur ist die Kostenstruktur für das jeweils berechnete Szenario angepasst worden. Für die beiden betrachteten Szenarien wurde die Kostenstruktur in Einmalkosten und Fixkosten unterteilt. Variable Kosten fallen in der Betrachtung der Kostenstruktur für die Szenarien 2 und 3 nicht an und konnten somit außer Acht gelassen werden, da die Fixkosten der jeweiligen Szenarien und hierbei insbesondere die Bereitstellung von Servern und Hardware schwankende Auslastungen abdeckt und keine Kosten abhängig von der Anzahl der bewerteten oder gematchten Bauteile anfallen.

Der Bereich der **Einmalkosten** umfasst zum einen Hardwarekosten zur Bereitstellung von Serverkapazitäten und zur Ausstattung mit Computern und Telefonen. Zum anderen umfassen die Einmalkosten auch die externe Beratung im Bereich der AM-Technologien und den Support durch externe IT-Experten. Diese Kosten dienen zur Optimierung und Verbesserung des entwickelten Softwaretools.

Im Bereich der Fixkosten fallen verschiedene Kostenpositionen im Personalwesen an. Darüber hinaus finden Kosten für die Immobilie und das Marketing Einzug in die Berechnung. Die Personalkosten setzen sich aus den Rollen von IT-Kräften, Kundenberatern und Marketing-Managern zusammen. Die Höhe der Gehälter wurde durch Vergleiche von Jobportalen und internen Annahmen zur Zahlungsbereitschaft abgeschätzt. Zudem setzt sich die Höhe der Mietkosten aus Vergleichen von Immobilienplattformen zusammen. Beispielfhaft wurde Mietkosten im Bereich Hamburg zur Kalkulation verwendet.

## Szenario 2

In Bild 74 (s. S. 123) und Bild 75 (s. S. 124) sind die Kostenstrukturen für die zwei Ansätze der Einnahmequellen für das Szenario 2 zu sehen. Die Kostenstruktur für den globalen AM-Rechenansatz (Ansatz 1) stellt dabei die minimalen Anforderungen dar, die erfüllt werden müssen, damit die Dienstleistung der Bauteilbewertung des Szenarios 2 erbracht werden kann. Diese Kosten belaufen sich auf 271.692,00 Euro pro Jahr.

Für den Ansatz „Ersatzteile in Deutschland“ der Einnahmequellen konnte die Kostenstruktur differenzierter berechnet werden. Dabei sind aufgrund des hohen Anteils der Personalkosten, insbesondere diese Kosten deutlich höher. Für diesen Fall wird mit drei notwendigen Kundenberatern gerechnet. Dazu wurde zunächst die Anzahl der für die Softwarelösung geeigneten Bauteile durch die Anzahl der für die Softwarelösung geeigneten Bauteile des Fallbeispiels *Alstom Transport Deutschland* geteilt. Ziel dieser Rechnung ist eine Schätzung, wie viele Unternehmen und somit Anfragen an die Kundenberater sich hinter der gesamten Anzahl an Bauteilen in dem jeweiligen Ansatz verbergen. Diese Anzahl stellt allerdings nur eine grobe Abschätzung der Anzahl an Unternehmen dar, die Anfragen an Kundenberater stellen könnten, da nicht jedes nachfragende Unternehmen die Größe von *Alstom* besitzt. Somit dürfte die tatsächliche Anzahl an nachfragenden Unternehmen noch höher liegen. Basierend auf der somit errechneten Anzahl an für die Kundenberater relevanten Unternehmen wurde eine gleichmäßige Verteilung dieser Anfragen über das Jahr angenommen. Der genaue Zeitaufwand einer Beratung für ein Unternehmen kann nicht exakt bestimmt werden. Jedoch kann man annehmen, dass sich dieser zeitliche Beratungsaufwand auf mehrere Stunden oder Tage erstrecken könnte und mehrere Anfragen pro Unternehmen getätigt werden.

Basierend auf diesem Ergebnis wurde die Anzahl der erforderlichen Kundenberater zur Bewältigung der Unternehmensanfragen auf zwei Stück geschätzt. Die Kosten für den Ansatz „Ersatzteile in Deutschland“ belaufen sich insgesamt auf 422.388,00 Euro pro Jahr.



<b>Kostenstruktur</b>				
<b>Sammelposition</b>	Einheit	Einzelposition 1 (€ / a)	Einzelposition 2 (€ / a)	Einzelposition 3 (€ / a)
<b>Einmalkosten</b>				
Hardware (X €)		Server	PC	Telefon
6.600,00	€ / a	3.000,00	3.000,00	600,00
Externe Entwicklungskosten		Technologie- Beratung durch IAPT	IT-Beratung durch Externe	
51.000,00	€ / a	15.000,00	36.000,00	
<b>Fixkosten</b>				
Gehalt für IT-Kräfte		IT-Kraft 1		
50.600,00	€ / a	50.600,00		
Kunden-Berater (intern)		Kunden-Berater		
35.000,00	€ / a	35.000,00		
Miete		Büro (100m²)		
26.496,00	€ / a	26.496,00		
Marketing		Marketing- Manager mit Berufserfahrung	Marketing Budget	
101.996,00	€ / a	51.996,00	50.000,00	
<b>271.692,00</b>	<b>€ / a</b>			

Bild 74: Kostenstruktur Szenario 2: Globaler AM-Rechenansatz

### Szenario 3

In Bild 76 (s. S. 125) und Bild 77 (s. S. 125) sind die Kostenstrukturen für die beiden Ansätze des Szenarios 3 dargestellt. Auch hierbei stellt die Kostenstruktur des globalen AM-Ansatzes die minimalen Anforderungen dar, die erfüllt werden müssen, damit die Dienstleistung des Szenarios 3 erbracht werden kann. Die Gesamtkosten belaufen sich auf 271.692,00 Euro pro Jahr.

Ebenso wie in der Beschreibung der Kostenstruktur für das vorherige Szenario gelangen beim Ansatz 2 eine differenziertere Aufstellung der Kostenstruktur. Die wesentliche Anpassung ergibt sich dabei erneut in der Anzahl der benötigten Kundenberater. Dabei konnte anhand derselben Berechnungsmethode wie beim vorherigen Szenario die Anzahl der Unternehmen, die pro Woche mit weiterem Beratungsbedarf auf die Kundenberater zukommen ermittelt werden. Dementsprechend wurde die Anzahl der benötigten Kundenberater auf drei Stück festgelegt. Die Gesamtkosten für den Ansatz „Ersatzteile in Deutschland“ belaufen sich auf 359.692,00 Euro pro Jahr.

<b>Kostenstruktur</b>				
<b>Sammelposition</b>	Einheit	Einzelposition 1 (€ / a)	Einzelposition 2 (€ / a)	Einzelposition 3 (€ / a)
<b>Einmalkosten</b>				
Hardware (X €)		Server	PC	Telefon
10.200,00	€ / a	3.000,00	6.000,00	1.200,00
Externe Entwicklungskosten		Technologie- Beratung durch IAPT	IT-Beratung durch Externe	
51.000,00	€ / a	15.000,00	36.000,00	
<b>Fixkosten</b>				
Gehalt für IT-Kräfte		IT-Kraft 1	IT-Kraft 2	
101.200,00	€ / a	50.600,00	50.600,00	
Kunden-Berater (intern)		Kunden-Berater 1	Kunden-Berater 2	
70.000,00	€ / a	35.000,00	35.000,00	
Miete		Büro (200m²)		
52.992,00	€ / a	52.992,00		
Marketing		Marketing- Manager mit Berufserfahrung	Junior Marketing Manager	Marketing Budget
136.996,00	€ / a	51.996,00	35.000,00	50.000,00
<b>422.388,00</b>	<b>€ / a</b>			

Bild 75: Kostenstruktur Szenario 2: Ersatzteile in Deutschland – Rechenansatz

## F.2.4 Gewinnschwelle

Um festzulegen, ab welcher Bauteilanzahl von einem positiven wirtschaftlichen Szenario auszugehen ist, wurden die Gewinnschwellen für die zwei betrachteten Szenarien basierend auf der Kostenstruktur festgelegt. Zur Vereinfachung der Darstellung wird neben dem linearen Verlauf der Einnahmen auch ein linearer Verlauf der Kosten angenommen. Bei einer Anzahl von 241 773 Bauteilen, welche durch das Softwaretool bewertet werden, ist die Gewinnschwelle von 362.660,00 Euro pro Jahr. erreicht und damit beginnt die wirtschaftliche Tragfähigkeit des Szenarios 2 (s. Bild 78, S. 126).

<b>Kostenstruktur</b>				
<b>Sammelposition</b>	Einheit	Einzelposition 1 (€ / a)	Einzelposition 2 (€ / a)	Einzelposition 3 (€ / a)
<b>Einmalkosten</b>				
Hardware (X €)		Server	PC	Telefon
6.600,00	€ / a	3.000,00	3.000,00	600,00
Externe Entwicklungskosten		Technologie- Beratung durch IAPT	IT-Beratung durch Externe	
51.000,00	€ / a	15.000,00	36.000,00	
<b>Fixkosten</b>				
Gehalt für IT-Kräfte		IT-Kraft 1		
50.600,00	€ / a	50.600,00		
Kunden-Berater (intern)		Kunden-Berater		
35.000,00	€ / a	35.000,00		
Miete		Büro (100m <sup>2</sup> )		
26.496,00	€ / a	26.496,00		
Marketing		Marketing- Manager mit Berufserfahrung	Marketing Budget	
101.996,00	€ / a	51.996,00	50.000,00	
<b>271.692,00</b>	<b>€ / a</b>			

Bild 76: Kostenstruktur Szenario 3: Globaler AM-Rechenansatz

<b>Kostenstruktur</b>			
<b>Sammelposition</b>	Einheit	Einzelposition 1 (€ / a)	Einzelposition 2 (€ / a)
<b>Einmalkosten</b>			
Hardware (X €)		Server	PC
9.000,00	€ / a	3.000,00	5.000,00
Externe Entwicklungskosten		Technologie- Beratung durch IAPT	IT-Beratung durch Externe
51.000,00	€ / a	15.000,00	36.000,00
Gehalt für IT-Kräfte		IT-Kraft 1	IT-Kraft 2
101.200,00	€ / a	50.600,00	50.600,00
Kunden-Berater (intern)		Kunden-Berater 1	Kunden-Berater 2
70.000,00	€ / a	35.000,00	35.000,00
Miete		Büro (100m <sup>2</sup> )	
26.496,00	€ / a	26.496,00	
Marketing		Marketing- Manager mit Berufserfahrung	Marketing Budget
101.996,00	€ / a	51.996,00	50.000,00
<b>359.692,00</b>	<b>€ / a</b>		

Bild 77: Kostenstruktur Szenario 3: Ersatzteile in Deutschland – Rechenansatz

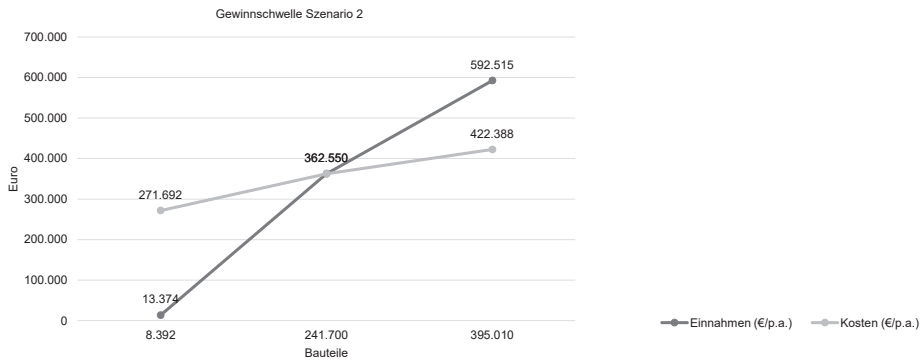


Bild 78: Gewinnschwelle Szenario 2

Ebenso wie bei der Gewinnschwellenberechnung des vorherigen Szenarios wird auch beim Szenario 3 vorgegangen. Die Berechnung der Gewinnschwelle ergibt, dass 10.823 Bauteile mit erfolgreichem Produzenten-Matching notwendig sind, damit der Umsatz in Höhe von 301.723,00 Euro pro Jahr erreicht wird und die wirtschaftliche Tragfähigkeit des Szenarios gegeben ist (s. Bild 79).

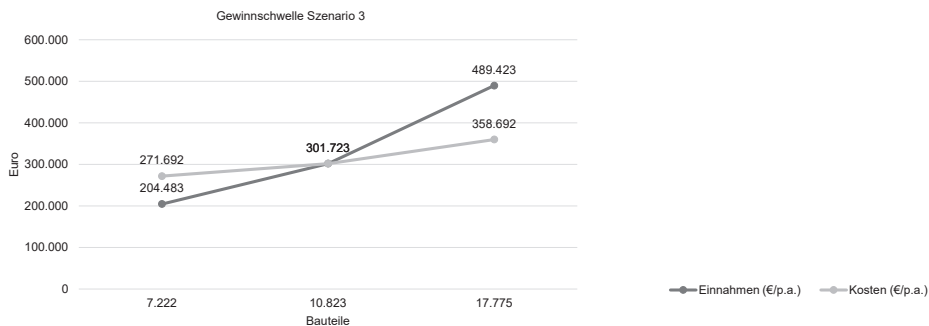


Bild 79: Gewinnschwelle Szenario 3

### F.3 Change-Management zur Geschäftsmodelltransformation

Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)

Ziel des Kapitels F.3 ist die Erarbeitung eines umfassenden Konzepts zur Geschäftsmodelltransformation, welches Logistikdienstleister dazu befähigt, ihre derzeitigen Geschäftsmodelle zu transformieren. Anhand der Analyse des bestehenden Geschäftsmodells sollen notwendige Anpassungen abgeleitet werden und im Sinne des Change-Managements wie auch des Marketings ein Geschäftsmodelltransformations- sowie ein externes Kommunikationskonzept entwickelt werden. Um die angestrebten Ziele zu erreichen, wird das Business-Transformation-Canvas genutzt (s. Bild 80).

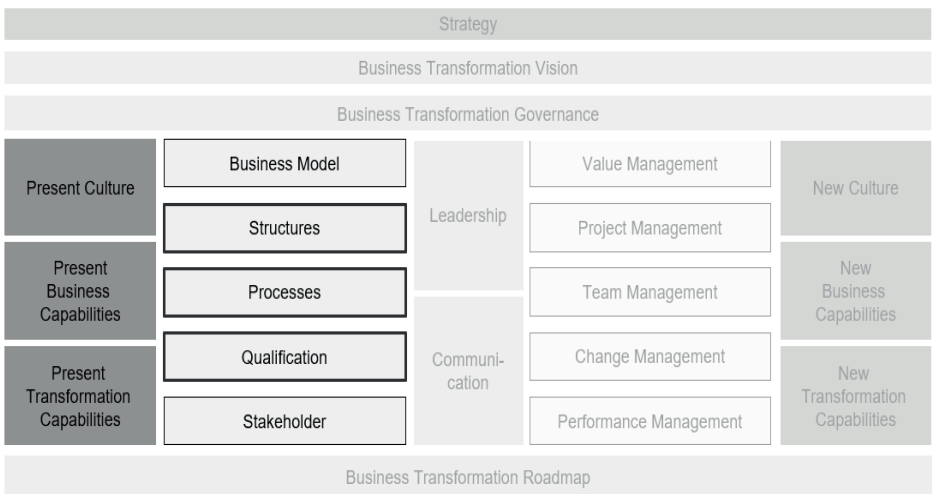


Bild 80: Business-Transformation-Canvas (eigene Darstellung i. A. a. GUDERGAN ET AL. 2017, S. 161)

Dabei liegt der Fokus von Kapitel F.3 auf den Aspekten der *Strukturen*, *Prozesse* und *Qualifikationen*. Der Aspekt des Business-Modells wurde bereits in Kapitel F.1 behandelt und der Stakeholder-Aspekt wird im Rahmen der Rollendefinition und Qualifikationen integriert.

Grundlegende Annahmen sind dabei die Szenarien 2 (LDL als AM-Entscheider) und 3 (LDL als Auswähler des Produzenten). Hierauf beziehen sich die Prozesse, die erforderlichen Strukturanpassungen und die dadurch entstehenden neuen Rollenprofile und Kompetenzen.

## Business-Transformation-Canvas – Prozesse

Das Betrachtungsfeld der Prozesse wird durch die Leitfragen “Wie sehen die zukünftigen Prozesse in unserem Unternehmen aus?” und „Wie wird die neue Prozesswelt erarbeitet“ charakterisiert.

Mittels der Brownpaper-Methode wurde der Regelfall des Prozesses durchgespielt und aufgenommen. Bei der Brownpaper-Methode werden Prozessdarstellungen auf braunem Packpapier aufgezeichnet, sodass sie auf pragmatische Art und Weise analysiert und geändert werden können. Dabei wird sich auf die Abteilungen des *Kundenservice*, der *Qualitätssicherung* und der *IT* spezialisiert und die Verknüpfungspunkte zu den Kunden und Produzenten werden betrachtet.

Der LDL übernimmt in dieser Betrachtung zwei Rollen: Die Rolle des AM-Entscheidungers beinhaltet dabei die Bauteilvorauswahl bzw. Machbarkeitsprüfung von Bauteilen, aber auch Beratungsdienstleistungen im Bereich der additiven Fertigung, um fehlendes Know-how auf Kundenseite auszugleichen und potenzielle Bauteile für eine Bestandsreduktion zu identifizieren. Die zweite Rolle des LDLs ist die des Produzentenauswählers. Hierbei werden anhand bestimmter Kriterien (s. Kapitel E 3.4) und der vorangehend beschriebenen Machbarkeitsbewertung geeignete Produzenten identifiziert und vermittelt. Neben der Funktion des Produzenten-Matchings und der damit verbundenen Reduktion des Suchaufwands für den Kunden bietet diese Rolle dem Kunden noch das Qualitätsversprechen eines verlässlichen Produzenten.

In den nachfolgenden Abschnitten werden dabei zwei Prozessabläufe detaillierter betrachtet. Das ist zum einen der Prozessablauf Bauteilbewertung (1) und zum anderen der Prozessablauf Produzenten-Matching (2).

### Prozess Bauteilbewertung (1)

Der erste Detailprozess behandelt den Ablauf der Bauteilbewertung bei einem LDL. Der Prozessablauf beginnt dabei kundenseitig durch den Wunsch der Bauteilüberprüfung. Die Kundenanfrage der Bauteilüberprüfung kommt beim LDL im Kundenservice an. Der Kundenservice nimmt die Bauteildaten für die Machbarkeitsbewertung auf. Neben der Datenaufnahme durch den Kundenservice besteht auch die Möglichkeit, dass der Kunde selbständig die benötigten Daten eingibt und bei Bedarf auf das Beratungsangebot von internen 3D-Druck-Experten (AM-Engineer) zurückgreifen kann. Dies gilt ebenso für den Kundenservice, der bei fehlendem Wissen in der additiven Fertigung einen 3D-Druck-Experten zurate ziehen kann. Aufgrund des sporadischen Bedarfs eines 3D-Druck-Experten ist keine unternehmenseigene Einstellung erforderlich. Stattdessen kann auf einen externen Experten zurückgegriffen werden.

Nach Prüfung der Bauteildaten auf ihre Plausibilität erfolgt durch den Kundenservice die Eingabe der Daten in der 3Dsupply-Softwarelösung. Das Ergebnis der Bauteilbewertung wird einerseits dem Kunden, andererseits der Qualitätssicherung des LDLs mitgeteilt. Die Rückmeldung der Bauteilbewertung wird von der Qualitätssicherung zur kontinuierlichen Optimierung und Weiterentwicklung des Software-Tools verwertet. Die daraus gewonnenen Anpassungs- und Verbesserungsanforderungen werden der IT-Abteilung des LDLs zur Implementierung mitgeteilt. Neben der Mitteilung des Ergebnisses der Bauteilbewertung an die Qualitätssicherung findet selbstverständlich auch die Übermittlung der Bauteilbewertung an den Kunden statt. Falls die Bewertung positiv ausfällt, bietet sich dem Kunden die Möglichkeit, entweder noch einen geeigneten Produzenten für das Bauteil zu finden oder den Vorgang an dieser Stelle abzubrechen und sich dennoch gegen einen Druck zu entscheiden. Im letzten Fall endet der Prozessablauf beim LDL. Falls eine Produzentenauswahl vom Kunden gewünscht wird, findet an dieser Stelle der Übergang vom Prozess der Bauteilbewertung zum Prozessablauf der Auswahl eines geeigneten Produzenten statt. Der bisherige Prozessablauf der Bauteilbewertung ist in Bild 81 zu sehen.

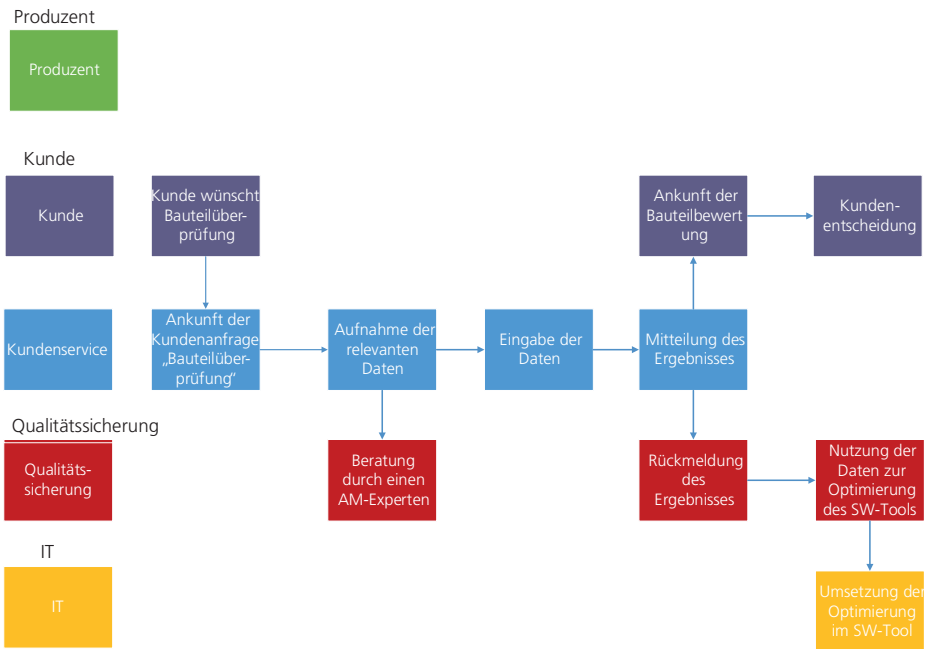


Bild 81: Ansicht des Detailprozesses Bauteilbewertung (1) (eigene Darstellung)

## Prozess Produzenten-Matching (2)

Nach einem vollständigen Durchlauf des Bauteilbewertungsprozesses und der Erzielung eines positiven Ergebnisses beginnt der Prozessablauf des Produzenten-Matchings. Der Kundenservice findet mithilfe der 3Dsupply-Softwarelösung einen passenden Produzenten für das vorangehend bewertete Bauteil. Nach der Auswahl eines geeigneten Produzenten, erfolgt die Kontaktaufnahme mit dem Produzenten durch den Kundenservice des LDLs. Anhand der durch die 3Dsupply-Softwarelösung und den Kundenservice übermittelten Bauteil- und Bewertungsdaten kann der Produzent detaillierte Informationen zur Kostenstruktur und Zeitplanung der Produktion zurückmelden.

Nachdem die Daten des Produzenten an den Kundenservice zurückgemeldet werden, wurden diese Daten auch der Qualitätssicherung zur Verfügung gestellt. Aus der Nutzung dieser Daten können zum einen Optimierungsvorschläge für die 3Dsupply-Softwarelösung generiert werden. Zum anderen dienen die Daten auch zur Bewertung der Produzenten. Nach der Erarbeitung von Verbesserungsvorschlägen für die 3Dsupply-Softwarelösung werden die Ideen zur Umsetzung an den IT-Support weitergeleitet.

Dazu teilt der Kundenservice dem Kunden die Daten mit, die der Produzent übermittelt hat. Hierbei existieren zwei Möglichkeiten; die eine besteht darin, dass der Kunde das Angebot ablehnt. Dies würde zu einem Abbruch des Prozesses führen. Im anderen Fall nimmt der Kunde das Angebot an. Nachdem der Kunde dem Kundenservice die Auswahl des Produzenten bestätigt hat, erfolgt die Weiterleitung der Bestätigung an den Produzenten. An dieser Stelle endet der Prozessablauf des Produzenten-Matchings für den LDL. Der Produzent kann nun mit der Produktion starten. Die detaillierte Ansicht des Prozessablaufs des Produzenten-Matchings ist Bild 82 (s. S. 131) zu entnehmen.

## Business-Transformation-Canvas – Strukturen

Zur erfolgreichen Transformation des Geschäftsmodells müssen sich LDL die Frage stellen, ob sie jene vollständig innerhalb der Bestandsorganisation vornehmen können oder eine Ausgliederung in eine neue Untereinheit zu bevorzugen ist. Hierzu wäre etwa eine Ausgründung des neu zu schaffenden Unternehmensbereichs denkbar.

Eine eigenständige Ausgründung bietet mehrere Vorteile und geschieht aus unterschiedlichen Gründen. Ein wesentlicher Grund, weshalb ein eigenständiger Unternehmensbereich vorteilhaft ist, ist die erhöhte Reputation des Unternehmensbereichs, wenn er separat betrachtet wird. Dadurch werden der Aufbau eines innovativen Images und der Vertrauensaufbau von Kunden gegenüber der angebotenen Dienstleistung der Machbarkeitsbewertung und des Produzenten-



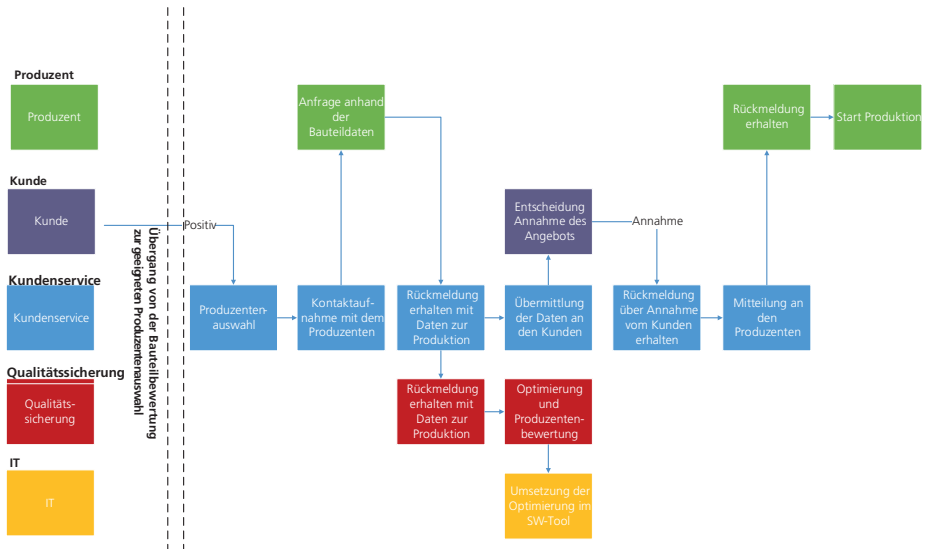


Bild 82: Ansicht des Detailprozess Produzenten-Matching (2) (eigene Darstellung)

Matchings deutlich erleichtert. Im Gegenzug wäre im Falle einer kompletten Integration des neuen Geschäftsmodells in die bestehenden Strukturen eines LDLs das Problem gegeben, dass mangelndes Vertrauen von Kunden gegenüber einem mittelständischen Logistikunternehmen in Kombination mit Machbarkeitsbewertungen und Produzentenauswahl im Bereich der additiven Fertigung zu erwarten wäre.

Insbesondere aufgrund mangelnder Erfahrung im Bereich der additiven Fertigung und eines unterschiedlichen Kerngeschäfts könnte die Seriosität des 3D-Druck-Vorhabens angezweifelt werden, wenn keine Unternehmensausgründung erfolgt. Damit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass Barrieren zur Neukundenakquise bestehen würden, die den Erfolg des Unternehmens gefährden würden. Dennoch bietet es einen Vorteil, Teil der Unternehmensgruppe zu sein, da somit der Charakter eines risikoreichen Start-ups reduziert wird und auf langjährige Erfahrung im Bereich der Unternehmensführung zurückgegriffen werden kann.

Weitere Gründe für eine eigenständige Unternehmung sind die größere prozessuale Unabhängigkeit und Gestaltungsfreiheit. Diese ermöglichen schnellere und flexiblere Anpassungen und erleichtern den Aufbau neuer Strukturen. Dadurch können im Fall

einer eigenständigen Ausgründung auch Schwierigkeiten bei der Integration der neuen Prozessabläufe in die bestehenden Abläufe vermieden.

Neben der Gründung eines eigenen Unternehmens findet auch der Aufbau neuer Abteilungen und Rollen statt. Eine neu zu gestaltende Abteilung ist die Qualitätssicherung, die für eine kontinuierliche Überprüfung und Anpassung der Softwarelösung und weitergehende Beratung für Fragen im Bereich der additiven Fertigung verantwortlich ist. Diese Tätigkeiten werden durch die neu geschaffene Stelle des AM-Engineers abgedeckt.

Die Abteilung des Vertriebs wird durch den Aspekt des Marketings erweitert. Die neuen Anforderungen an den Vertrieb und das Marketing bezüglich des 3D-Drucks werden durch neu zu besetzende Stellen des AM-Service-Solution-Architects abgedeckt, der als Consultant an der Schnittstelle zwischen Vertriebstätigkeiten und Know-how im Bereich der additiven Fertigung sitzt.

Eine weitere neue Stelle ist die des Customer-Service-Agent, der in der Abteilung des Kundenservice angesiedelt ist, für die Bearbeitung der Anfragen zur Machbarkeitsbewertung von Bauteilen und die Auswahl eines geeigneten Produzenten zuständig ist sowie im Kontakt mit den Kunden steht.

### **Business-Transformation-Canvas – Qualifikationen**

Für den LDL als Betreiber der Softwarelösung und damit als AM-Bauteilbewerber und Auswähler eines geeigneten Produzenten ergeben sich die im vorherigen Absatz „Business-Transformation-Canvas – Strukturen“ beschriebenen strukturellen Änderungen. Bei diesen strukturellen Änderungen können mehrere neue Rollen abgeleitet werden, die wesentlich für die Erfüllung der einzelnen Strukturen sind; insbesondere hinsichtlich des Kundenservice, der Qualitätssicherung und des Vertriebs. Die drei neuen Rollenprofile, die sich ergeben, sind:

- Customer-Service-Agent
- AM-Engineer
- AM-Solution-Service-Architect

Zur Erarbeitung des Inhalts der Rollen wird die Methode des Role-Model-Canvas genutzt. Dabei werden neben einer allgemeinen Zielsetzung und Mission noch die primären Tätigkeiten, die mit der Rolle verbunden sind, und die dafür benötigten Werkzeuge aufgenommen. In einem weiteren Schritt wird der Entscheidungsbereich der jeweiligen Rolle näher detailliert. Um die Interaktion der Rolle mit anderen Rollen zu betrachten und die Rollendefinition final zu komplettieren, werden noch die Aspekte der Unterstützung und des Informationstransfers betrachtet.

## Stellenprofil Customer-Service-Agent

Der Customer Service Agent erfüllt die Schnittstellenfunktion zwischen dem Kunden, der Qualitätssicherung und dem Vertrieb bzw. dem Marketing und ist die erste Kontaktperson eines Kunden, der proaktiv nach einer Ersatzteillösung sucht. Eine Vielzahl von Aufgaben gehört zum primären Tätigkeitsbereich des Customer-Service-Agents. Dazu gehören zum einen die Entgegennahme der Aufträge des Kunden und die notwendige Datenaufnahme wie auch -eingabe für die Bauteilbewertung. Dies kann durch verschiedene Kommunikationskanäle gemeinsam mit dem Kunden erfolgen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Dateneingabe direkt durch den Kunden erfolgt und somit diese Tätigkeit für den Customer-Service-Agent entfällt. Eine weitere primäre Tätigkeit ist die Ergebnismitteilung der Bauteilbewertung gegenüber dem Kunden in geeigneter Form. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass eine potenzielle Zielgruppe an Kunden kein oder kaum Wissen im Bereich der additiven Fertigung besitzt und somit zielgerichtet die gewünschte Information durch den Customer-Service-Agent mitgeteilt bekommt.

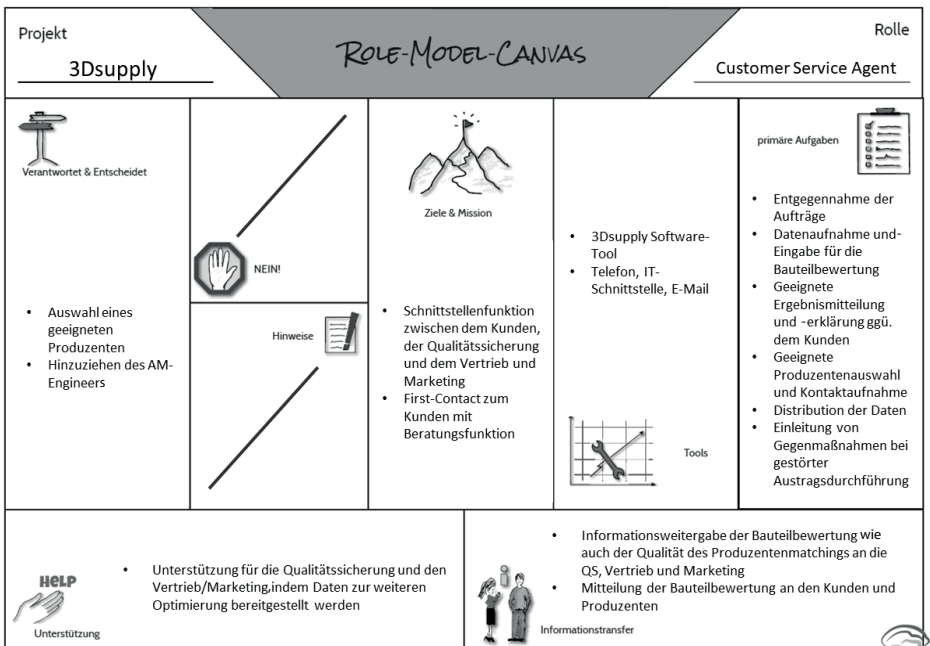


Bild 83: Stellenprofil Customer-Service-Agent (eigene Darstellung)

Neben der Dienstleistung der Bauteilbewertung wird zudem das Produzenten-Matching durch den Customer-Service-Agent begleitet. Hierbei ist die Auswahl eines geeigneten Produzenten für ein Bauteil mittels der 3Dsupply-Softwarelösung eine primäre Tätigkeit. Dazu gehören auch die Kontaktaufnahme und Kommunikation mit dem jeweiligen Produzenten. Bei den gesamten Tätigkeiten ist der Customer-Service-Agent verantwortlich für die korrekte Distribution der Daten zum Kunden, Produzenten, aber auch intern zur Qualitätssicherung. Außerdem liegen die Bearbeitung von Reklamationen und die passende Einleitung von Gegenmaßnahmen bei einer gestörten Auftragsdurchführung im Aufgabenbereich des Customer-Service-Agents. Im zentralen eigenständigen Verantwortungsbereich des Customer-Service-Agents liegt die Auswahl eines geeigneten Produzenten für das jeweilige Bauteil, wobei auf die technische Unterstützung der 3Dsupply-Softwarelösung zurückgegriffen wird.

Im Bereich der Interaktion mit anderen Rollen findet durch den Customer-Service-Agent die Unterstützung der Qualitätssicherung und des Vertriebs bzw. Marketings statt, indem die von den Kundenaufträgen generierten Daten der 3Dsupply-Softwarelösung und der Qualität des Produzenten-Matchings zur Erarbeitung von Optimierungs- und Verbesserungsvorschlägen an den AM-Engineer der Qualitätssicherung weitergereicht werden. Ein Informationstransfer findet zudem auch in Richtung des AM-Solution-Service-Architects des Vertriebs und des Marketings statt. Dieser arbeitet die Daten auf und kann Erkenntnisse zur Akquise-Optimierung und für ein zielführendes Marketing ableiten.

### **Stellenprofil AM-Engineer**

Übergeordnetes Ziel des AM-Engineers sind der Erhalt und die kontinuierliche Verbesserung der Ergebnisqualität der Bauteilbewertung sowie der Auswahl geeigneter Produzenten für die bewerteten Bauteile. Zudem liegt ein wesentlicher Teil der Rolle des AM-Engineers in der Weitergabe von AM-Wissen an die anderen Unternehmensbereiche.

Zu den primären Tätigkeiten des AM-Engineers gehört die weiterführende Beratungsfunktion mit Fachwissen im Bereich der additiven Fertigung einerseits für den Customer-Service-Agent. Letzterer soll dazu befähigt werden, eine bessere Auftragsdurchführung mit dem Kunden zu leisten. Andererseits kann der AM-Engineer auch direkt beratend für den Kunden tätig werden und bei der Generierung der für die Bewertung erforderlichen Daten unterstützen. Eine weitere primäre Tätigkeit liegt in der Analyse und Aufbereitung der Daten zur Bauteilbewertung und Qualität des Produzenten-Matchings. Auf Basis dieser Analysetätigkeiten werden Optimierungs- und Verbesserungsvorschläge zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der 3Dsupply-Softwarelösung erarbeitet. Somit gehört zu den Kerntätigkeiten des AM-Engineers

die permanente Qualitätssicherung der Ergebnisse der Bauteilbewertung und des Produzenten-Matchings.

Im Verantwortungsbereich des AM-Engineers liegt die eigenständige Entscheidung bezüglich der Ausgestaltung der Optimierungsvorschläge. Dementsprechend ist die 3Dsupply-Softwarelösung das Hauptwerkzeug des AM-Engineers.

Für die beiden Aspekte ‚Unterstützung‘ und ‚Informationstransfer‘, die die Interaktion mit anderen Rollen beschreiben, unterstützt der AM-Engineer durch die Erarbeitung von Verbesserungsvorschlägen und die Sicherstellung der Qualität wesentlich die Arbeit des Vertriebs und des Marketings, indem hochwertige und erfolgversprechende Ergebnisse vorgewiesen werden können. Des Weiteren erfährt der Customer-Service-Agent durch die Beratungsfunktion des AM-Engineers eine Unterstützung seiner Arbeit im Umgang mit Kunden. Um hierbei unterstützend tätig zu sein, findet ein Informationstransfer zum einen in Richtung des Customer-Service-Agents mit der benötigten 3D-Druck-Information statt, zum anderen gibt der AM-Engineer seine erarbeiteten Verbesserungsvorschläge

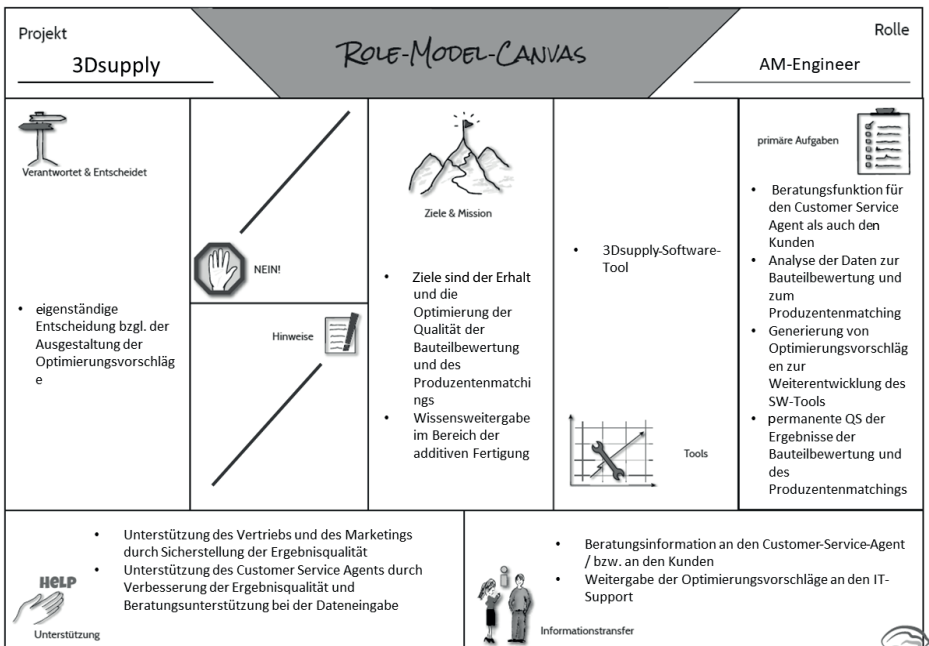


Bild 84: Stellenprofil AM-Engineer (eigene Darstellung)

an den IT-Support weiter und steht im engen Austausch zur korrekten Umsetzung der Vorschläge.

### **Stellenprofil AM-Service-Solution-Architect**

Übergeordnetes Ziel des AM-Service-Solution-Architects sind die fortwährende Ausgestaltung und Weiterentwicklung des bestehenden Dienstleistungsangebots in der additiven Fertigung. Zudem sind der Erhalt des Alleinstellungsmerkmals der 3Dsupply-Softwarelösung und die Erhöhung der positiven Außenwahrnehmung weitere Ziele des AM-Service-Solution-Architects.

Zu seinen primären Tätigkeiten zählt das Anbieten von Beratungsdienstleistungen im Bereich der additiven Fertigung in Kombination mit der 3Dsupply-Softwarelösung. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf Beratungsdienstleistungen mit dem Ziel der Neukundenakquise. Weitere Aufgaben sind die Analyse des bestehenden Marktes und die Optimierung der Dienstleistungsstruktur zur bestmöglichen Positionierung und Ausschöpfung des Marktpotenzials. Dazu gehören die Anpassung und die Weiterentwicklung des Bepreisungsmodells. Eine weitere wichtige Tätigkeit ist die Erarbeitung von Bewertungsstrukturen für Produzenten. Diese Aufgabe ist vor allem vor dem Hintergrund der Ausübung der „Quality Gate“-Funktion des AM-Service-Solution-Architects von Bedeutung. Ebenfalls gehören die innovative und kreative Außendarstellung und Vermarktung der Bauteilbewertung und des Produzenten-Matchings zu den Kerntätigkeiten des AM-Service-Solution-Architects. Ein Hauptwerkzeug dieser Tätigkeiten ist die 3Dsupply-Softwarelösung.

Der AM-Service-Solution-Architect ist indirekt für den Customer-Service-Agent unterstützend tätig, indem durch die Neukundengewinnung und erfolgreiche Vermarktung der 3D-Druck Dienstleistungen für ausreichend Auftragsvolumen gesorgt wird. Zudem findet zur Durchführung der „Quality Gate“-Funktion ein Informationsaustausch mit dem AM-Ingenieur statt, der entsprechende Daten als Entscheidungsgrundlage bereitstellt.

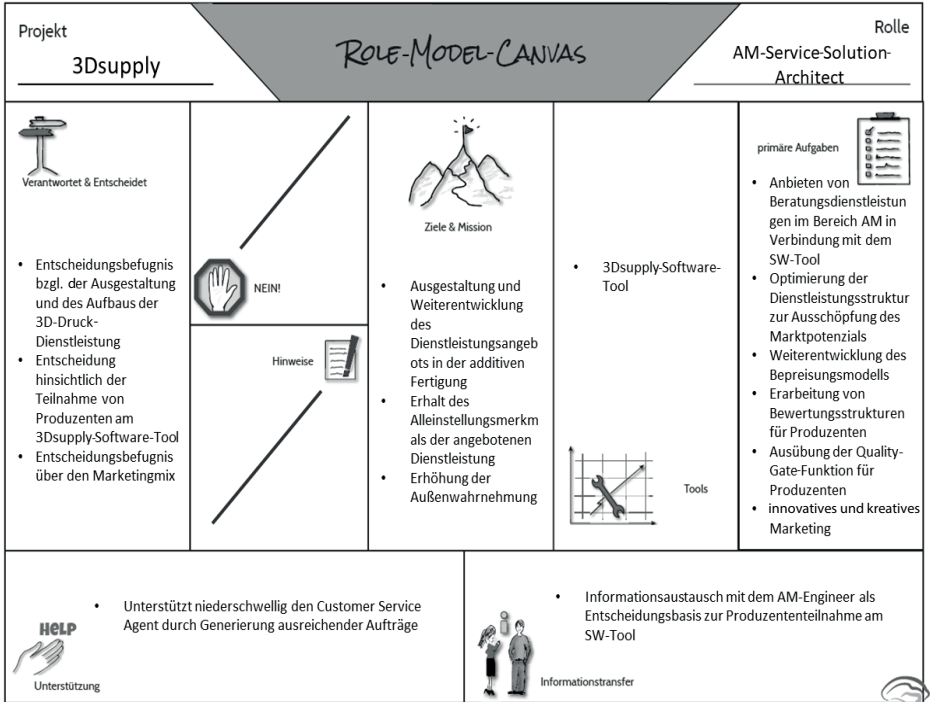


Bild 85: Stellenprofil AM-Service-Solution-Architect (eigene Darstellung)





## G. ERPROBUNG UND VALIDIERUNG

Die Erprobung und Validierung der dezentralen Versorgungsstruktur und des Systems der Bauteilbewertung wie auch der Produzentenauswahl sind wichtig, um belastbare Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit der Softwarelösung in Kombination mit einem LDL zu erlangen. Dazu wurden unter anderem Usability-Tests durchgeführt, aus denen sich auch Anforderungen an den Schulungsbedarf der Anwender ableiten lassen. Als weitere vorbereitende Maßnahme zur Durchführung des Probebetriebs sind zunächst die Anwendungsszenarien und Sollprozesse definiert worden. Basierend auf dem Wissen der Experten für Logistik und additive Fertigung wie auch auf den Erkenntnissen aus den Ergebnissen der Simulation mit historischen Daten ist ein Bewertungsschema zur Validierung des Probebetriebs entwickelt worden. In Kapitel G.3 werden schlussendlich die Ergebnisse der Durchführung des Probebetriebs präsentiert.

### G.1 Usability-Tests der entwickelten Softwarelösung

*Svenja Marek, Daniel Pause (FIR); Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

Die Benutzerfreundlichkeit ist ein wichtiger Faktor für die individuelle Erfahrung eines Produkts. Der Aspekt beschreibt, wie einfach ein System bedient werden kann. Dies kann beispielsweise daran gemessen werden, wie viele Operationen notwendig sind, um eine Aufgabe zu erledigen.

In einem Benutzerfreundlichkeitstest betreibt eine Testgruppe das Softwaretool und führt darin realistische Aufgaben aus. Anschließend wird überprüft, wie gut die Testgruppe die Aufgaben erfüllt. Aus diesen Beobachtungen und anschließenden Interviews mit den Testern lässt sich ableiten, wie gut die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung ist und welche Funktionen und Bedienschritte Probleme oder Unklarheiten verursachen. (s. RÖSLER U. THÖLKE 2015, S.107).

Der Usability-Test ist in mehrere Aufgabenbereiche unterteilt, die die jeweiligen Stakeholderansichten der Produzenten und des LDLs, der die Bauteildaten in der Softwarelösung eingibt, umfasst. Zunächst werden allgemeine Daten der Testperson, beispielsweise bezüglich ihres Bildungsabschlusses und ihrer Selbsteinschätzung zur IT-Affinität, abgefragt.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Die Usability-Tests wurden sowohl beim FIR als auch bei TOP Mehrwert-Logistik durchgeführt. Dabei wurden beim FIR Mitarbeiter mit unterschiedlich hohen akademischen Abschlüssen sowie verschiedenen Studienrichtungen und bei TOP Mehrwert-Logistik Mitarbeiter aus verschiedenen Abteilungen befragt.

Darauf folgt der erste Testschritt aus Sicht des Produzenten. Die Aufgaben bestehen darin, zwei Maschinen im Maschinenpark der Softwarelösung anzulegen und entsprechende Materialien zu hinterlegen, mit denen die Maschinen drucken können. Zum Schluss dieser Aufgabe wird die Schwierigkeit dieser Aufgabe abgefragt. Die Wahlmöglichkeiten sämtlicher Fragen des Usability-Tests basieren auf der 7-Punkte-Likert-Skala von „Ich stimme voll zu“ bis „Ich stimme nicht zu“. Ein exemplarischer Auszug des Usability-Tests ist in Bild 86 zu finden.

## Schritte im Test.

**1. Testschritt | Anlegen von Maschinen (als Produzent)**  
Bitte lege eine neue Maschine an. Wähle dabei einen beliebigen Namen.  
Die Maschine soll dabei die folgenden Materialien produzieren können:

<b>1. Acrylonitrile Butadiene Styrene</b> Mit den Bauraumabmaßen 300mm x 20 cm x 25 cm. Grundtoleranzgrad: IT 13 Oberflächengüte: 110µm (240µm an Hinterschnitten) Minimale Wandstärke: 8mm Maschinenstundensatz: 290€/h Aufbaurrate: 320 cm3/h Nacharbeitschritte: FFF, Lackieren, Polieren	<b>2. Polylactic Acid</b> Mit den Bauraumabmaßen 330mm x 25 cm x 25 cm. Grundtoleranzgrad: IT 10 Oberflächengüte: 90µm (140µm an Hinterschnitten) Minimale Wandstärke: 7mm Maschinenstundensatz: 470€/h Aufbaurrate: 200 cm3/h Nacharbeitschritte: FFF, Lackieren, Polieren, Stahlkugelstrahlen
---	--

Bitte speichere im Anschluss die Angaben.

Sind während dieses Schrittes irgendwelche Probleme oder unerwartetes Verhalten aufgetreten?  
Hat dich etwas verwirrt?  
Wenn ja, beschreibe diese Punkte bitte hier:

---

Das Hinterlegen von Maschinen sowie deren herstellbaren Materialien waren einfach:

Bild 86: Usability-Test: Produzentenansicht (exemplarischer Auszug; eigene Darstellung)

Der zweite Testschritt findet aus der Sicht eines LDLs statt, der Bauteildaten zur Potenzialbewertung in der Softwarelösung hinterlegt. Die Aufgabe besteht darin, die vorgegebenen Bauteildaten korrekt in das dafür vorgesehene Eingabefeld einzugeben und das technische und wirtschaftliche Potenzial des Bauteils zu beziffern. Abschließend wird auch für diesen Testschritt die Schwierigkeit abgefragt.

Im dritten Testschritt wird das Produzentenmatching getestet. Die Aufgabe besteht darin, die noch fehlenden Bauteildaten zum Finden eines geeigneten Produzenten zu hinterlegen und anschließend die aufgelisteten Produzenten des Bauteils zu benennen. Auch hierbei wird die Schwierigkeit der Aufgabe abgefragt.

Nach diesen drei Testschritten wird durch zehn Fragen die Nutzbarkeit der Softwarelösung bei den Testpersonen abgefragt. Dabei wurden die Fragen in die drei Kategorien ‚Einfachheit der Benutzung‘, ‚Lernprozess bei der Nutzung‘ und ‚Zufriedenheit bei der Nutzung‘ unterteilt.

### **Usability-Test am FIR**

Am FIR haben zwölf Testpersonen den Usability-Test durchgeführt und den Fragebogen beantwortet. Die erfassten Werte zeigen eine hohe Zufriedenheit mit dem Tool. Insbesondere die Aussagen zur einfachen Verständlichkeit des Systems sowie zur Erlernbarkeit der Bedienung des Tools stießen mit einem Durchschnittswert von jeweils 6,5 auf eine hohe Akzeptanz. Auch die Belastungszeiten des Werkzeugs wurden von den Probanden mit einem Durchschnittswert von 6 917 als angemessen erachtet. Die detaillierten Ergebnisse sind Bild 87 (s. S. 142) zu entnehmen.

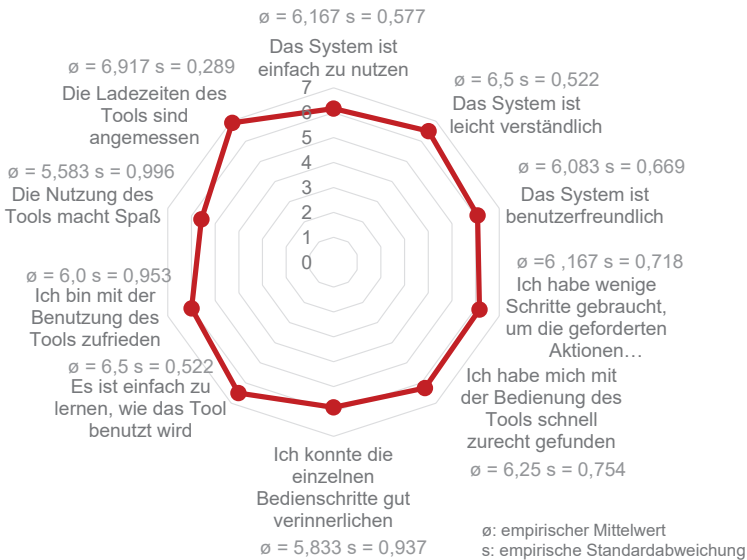


Bild 87: Ergebnisse des Usability-Tests am FIR (eigene Darstellung)

## Usability-Test bei TOP Mehrwert-Logistik

Bei TOP Mehrwert-Logistik haben sechs Teilnehmer den Usability-Test durchgeführt. Auch hier bilden die erfassten Werte eine hohe Zufriedenheit bei der Benutzung des Software-Tools ab. Vor allem die hohen Werte bei der Verinnerlichung der Bedienschritte und dem Zeitaufwand, um sich mit dem Software-Tool vertraut zu machen, zeigen die hohe Benutzerfreundlichkeit des Tools gegenüber verschiedenen Anwendergruppen auf. Die detaillierten Ergebnisse des Usability-Tests von TOP Mehrwert-Logistik sind Bild 88 (s. S. 143) zu entnehmen.

## Schulung der Anwender

Basierend auf den Ergebnissen der Usability-Tests am FIR wie auch bei TOP Mehrwert-Logistik konnte der Bedarf für Anwenderschulungen näher bestimmt werden. Da sowohl bei den Befragten von TOP Mehrwert-Logistik, die überwiegend keinen akademischen Bildungshintergrund aufweisen, als auch bei den Befragten vom FIR,

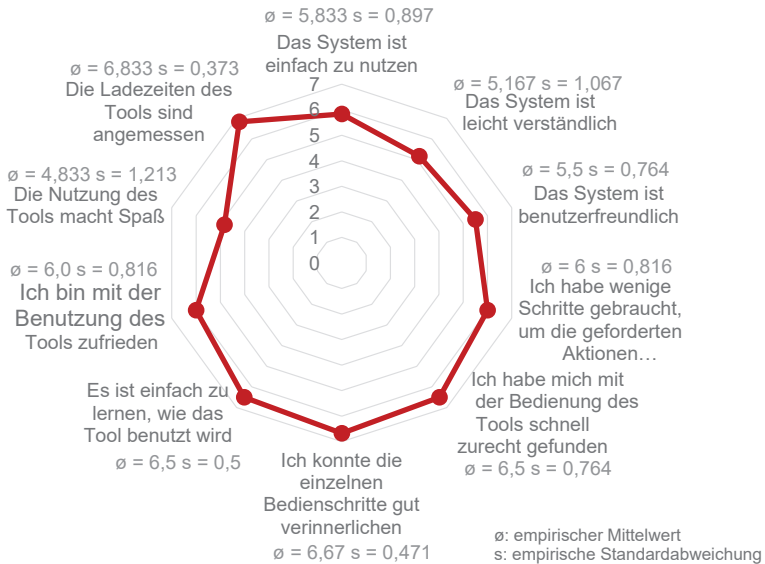


Bild 88: Ergebnisse des Usability-Test TOP Mehrwert-Logistik (eigene Darstellung)

mit einem mehrheitlich akademischen Bildungshintergrund, die Bewertungen zur Zufriedenheit der Toolbenutzung und zum Erlernen der Toolfunktionalitäten sehr hohe Zufriedenheit abbilden, lässt sich schlussfolgern, dass sich der Schulungsbedarf für die Anwender durch die intuitive Bedienbarkeit und die Informationskästen in der Softwarelösung in Grenzen hält. Die intuitive Handhabung der Softwarelösung erleichtert das selbständige Erlernen und Verinnerlichen der Bedienschritte nach kurzer Zeit. Dennoch ist eine Einweisung zu Beginn der ersten Nutzung der Softwarelösung erforderlich, da ansonsten der Zweck der Funktionalitäten dem Nutzer nicht auf Anhieb ersichtlich ist. Diese Schlussfolgerung lässt sich aus den gesammelten Erfahrungen der Moderation der Usability-Tests ziehen, wo diese anfängliche Einführung in die Benutzung durchgeführt wurde. Ein weiterer Indikator dafür, dass trotz des leichten Erlernens der Bedienschritte eine einmalige Einweisung in die Softwarelösung erforderlich ist, lässt sich aus den niedrigeren Ergebnissen der Befragung zur Verständlichkeit der Systems ableiten. Dennoch muss hierzu gesagt werden, dass dies auch nur auf die Befragungen von TOP Mehrwert-Logistik zutrifft und mit einem Wert von 5,167 immer noch ein hoher Wert erreicht ist. Bei den

Umfrageergebnissen des *FIR* ist die Verständlichkeit des Systems mit einem Wert von 6,5 sogar im sehr guten Bereich, was auf einen niedrigen Schulungsbedarf hindeutet.

Zudem zeigen die positiven Ergebnisse des Usability-Tests, dass auch ohne Fachwissen im Bereich der additiven Fertigung eine Benutzung der Softwarelösung sehr gut machbar ist. Somit steht auch ohne umfangreiche Schulung dem Betrieb der Softwarelösung durch einen LDL, wie im Szenario 5 vorgesehen, nichts entgegen. Der im Verhältnis zu den Bewertungen der sonstigen Fragen relativ geringe Wert beim Spaßfaktor sowohl am *FIR* (5,583) als auch bei *TOP Mehrwert-Logistik* (4,833) ist auch darauf zurückzuführen, dass es sich um repetierende Tätigkeiten handelt. Diese sich wiederholenden Tätigkeiten haben aber wiederum für sich, dass kein regelmäßiger Schulungsbedarf für die Anwender besteht, sondern eine einmalige Einführung in die Benutzung der Softwarebenutzung ausreichend ist.

## G.2 Usecase-Definition

*Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)*

### Anwendungsszenarien:

Die Basis für die Auswahl geeigneter Anwendungsszenarien für die Ausgestaltung des Probetriebs bilden die in AP 3 entwickelten Netzwerkszenarien für den LDL im Kontext der additiven Ersatzteilerfertigung.

Der Fokus bei der Durchführung des Probetriebs liegt in der Auswahl des Netzwerkszenarios 5 (LDL als Bestandsmanager). Für den LDL ist das Hauptwerkzeug dieses Netzwerkszenarios die entwickelte Softwarelösung. Hierbei werden die zwei wesentlichen Kernfunktionen der Softwarelösung getestet. Zum einen wird die Bauteilbewertung hinsichtlich des additiven Fertigungspotenzials und zum anderen die Zusammenführung mit einem passenden Produzenten für ein additiv geeignetes Bauteil erprobt. Separat betrachtet stellen diese beiden Funktionen der Softwarelösung das Netzwerkszenario 2 (LDL als AM-Entscheider) und Netzwerkszenario 3 (LDL als Auswähler des Produzenten) dar.

In der Durchführung des Probetriebs sollen diese Szenarien allerdings nicht einzeln, sondern kombiniert erprobt werden, da die Bauteilbewertung und das Produzentenmatching die grundlegenden Funktionen des Softwaretools abbilden. Zudem sind die Bauteilbewertung und die Funktion des Produzentenmatchings insbesondere im Falle einer positiven Bauteilbewertung eng miteinander verzahnt und aufeinander aufbauend, wodurch eine gemeinsame Erprobung sinnvoll ist. Zusätzlich übernimmt der LDL im Netzwerkszenario 5 die Betreiberfunktion des Softwaretools

mit sämtlichen Funktionen und ist für den gesamten Informationsfluss verantwortlich, wodurch eine unabhängige Betrachtung und Erprobung der Bauteilbewertung und des Produzentenmatchings nicht zielführend ist. Das Netzwerkszenario 5 bietet außerdem gute Möglichkeiten zur Messung von logistischen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten .

### Sollprozesse:

Zur Umsetzung des Netzwerkszenarios 5 ist ein vereinfachter Sollprozess für den Probetrieb ausgestaltet worden. Im Probetrieb nehmen dabei die Anwendungspartner im Konsortium ihre verschiedenen Rollen ein. *Alstom Transport Deutschland* nimmt die Rolle des Ersatzteilmachfragers ein. *TOP Mehrwert-Logistik* führt die Rolle des Betreibers der Softwarelösung mit Bauteilbewertung und Produzentenmatching aus. Die Produzenten werden im Probetrieb durch die Anwendungspartner des *Fraunhofer IAPT* und *CompriseTec* dargestellt.

Startpunkt des vereinfachten Sollprozesses für den Probetrieb stellt dabei die Ersatzteilmachfrage durch *Alstom Transport Deutschland* an den LDL *TOP Mehrwert-Logistik* dar. *TOP Mehrwert-Logistik* führt mithilfe des Softwaretools eine Machbarkeitsüberprüfung des Bauteils durch. Die nun nachfolgenden Prozessschritte sind abhängig vom Ergebnis der Bauteilbewertung. Dabei wird, wie bereits in Abschnitt C und E beschrieben, sowohl die technische als auch wirtschaftliche Eignung der additiven Fertigung bewertet. Es ist demnach möglich, dass das untersuchte Bauteil sowohl technisch als auch wirtschaftlich großes Potenzial für die additive Fertigung aufweist oder entweder technisch oder wirtschaftlich geeignet ist oder keine Eignung vorliegt.

Für den Fall, dass das Bauteil weder technisch noch wirtschaftlich sinnvoll additiv zu fertigen ist, wird auf die konventionelle Fertigung zurückgegriffen. Diese Ergebnisse werden im Sollprozess nicht weiter betrachtet. Bei Ergebnissen, wo das Bauteil technisch kein großes Potenzial aufweist, aber wirtschaftlich additiv fertigbar ist, bewerten die Produzenten *Fraunhofer IAPT* und *CompriseTec* die Redesign-Möglichkeiten. Ist Redesign dabei keine Option, bleibt erneut die konventionelle Fertigung. Wenn ein Redesign technisch sinnvoll erscheint, findet durch *TOP Mehrwert-Logistik* eine erneute Machbarkeitsüberprüfung des Bauteils mit den geänderten Bauteildaten statt. Bei einer Bauteilbewertung mit technisch hohem, aber wirtschaftlich geringem Potenzial für die additive Fertigung obliegt es der Entscheidung des Ersatzteilmachfragers, ob dennoch eine Produktion erfolgen soll. Für eine additive Produktion eines Ersatzteils trotz eines wirtschaftlich geringen Potenzials kann beispielsweise die zeitlich schnellere Verfügbarkeit eines dringend benötigten Ersatzteils sein, die die individuelle Entscheidung für die Produktion eines Bauteils beeinflusst. Dies unterstreicht die Bedeutung der Softwarelösung als Hilfestellung zur Entscheidungsfindung einer additiven Fertigung

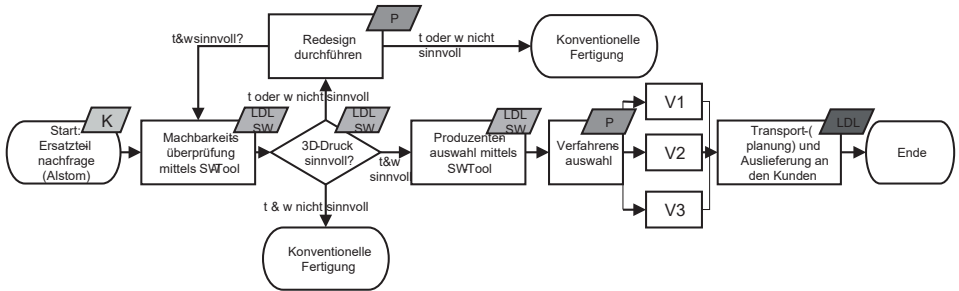


Bild 89: Vereinfachter Sollprozess Probetrieb

hinsichtlich des relativen additiven Potenzials eines Bauteils, ohne dabei einen Anspruch auf die Ermittlung des absoluten additiven Fertigungspotenzials zu erheben. Bei einer technischen und wirtschaftlich positiven Bauteilbewertung erfolgt durch *TOP Mehrwert-Logistik* mittels des Softwaretools eine geeignete Produzentenauswahl. Dem Produzenten obliegt es dabei, anhand der Bauteilkriterien eine Verfahrensauswahl zur anschließenden Produktion des Bauteils vorzunehmen. Schlussendlich erfolgen durch den LDL die Transportplanung und Auslieferung an den Kunden.

### Implementierung der Datenbank:

Das Softwaretool wurde in die IT-Infrastruktur von *TOP Mehrwert-Logistik* integriert und auf eigenen Servern implementiert. Neben der Implementierung in die IT-Infrastruktur von *TOP Mehrwert-Logistik* wurden die 3D-Drucker des Maschinenparks mit entsprechender Materialauswahl von *CompriseTec* als potenzielle Produzenten hinterlegt.

### Umsetzung und Durchführung der Simulation anhand historischer Daten:

Nach der Implementierung der Datenbank wurden Tests zur Leistungsfähigkeit und Stabilität der Softwarelösung durchgeführt. Zusätzlich ist es das Ziel der Simulation, den Änderungsbedarf an der Softwarelösung zu definieren. Dabei wurde in vier Schritten vorgegangen:

- Erstellen einer Bauteilliste zur Eingabe in der Softwarelösung
- Eingabe der Daten der Bauteilliste durch den LDL
- Erstellung eines paarweisen Bauteilvergleichs und einer Bauteilbewertung der Produktionsexperten
- Ableitung von Änderungsbedarf für die Softwarelösung

### Erstellung der Bauteilliste:



Zunächst wurde als Ausgangsbasis für die Simulation eine Bauteilliste mit zehn Bauteilen erstellt. Bei diesen Bauteilen ist bereits bekannt, dass sie über technisches und wirtschaftliches Potenzial zur additiven Fertigung verfügen. Die Erstellung dieser Bauteilliste hat durch den Ersatzteilmachfrager *Alstom Transport Deutschland* stattgefunden und wurde durch *CompriseTec* und das *Fraunhofer IAPT* validiert. Zudem enthält die Bauteilliste alle relevanten technischen und wirtschaftlichen Kriterien, die für eine vollständige Bauteilbewertung mittels der Softwarelösung erforderlich sind. Die mit den entsprechenden Daten angereicherte Liste wurde anschließend an den *LDL TOP Mehrwert-Logistik* übergeben.

### Dateneingabe in der Softwarelösung durch den LDL:

Im nächsten Schritt fand die Eingabe der Bauteildaten in der Softwarelösung zur Überprüfung von dessen Funktionstüchtigkeit durch *TOP Mehrwert-Logistik* statt. Die Durchführung der Simulationen anhand der Bauteildaten verlief positiv und die technische Stabilität und Leistungsfähigkeit der Softwarelösung konnten nachgewiesen werden. Die Ergebnisdarstellung der zehn Bauteilbewertungen kann dabei Bild 90 entnommen werden.

In einem weiteren Schritt wurde dazu noch die Funktionstüchtigkeit der Auswahl eines geeigneten Produzenten getestet. Auch hierbei verlief der Test der Leistungsfähigkeit der Softwarelösung positiv und entsprechende Ergebnisse der Produzentenauswahl wurden für die Bauteile angezeigt. Eine beispielhafte Darstellung der geeigneten Produzentenauswahl für ein Bauteil ist nachfolgend in Bild 91 (s. S. 148) dargestellt.

Bei der Erstellung der Bauteilliste und der Eingabe der Bauteildaten für die Simulation

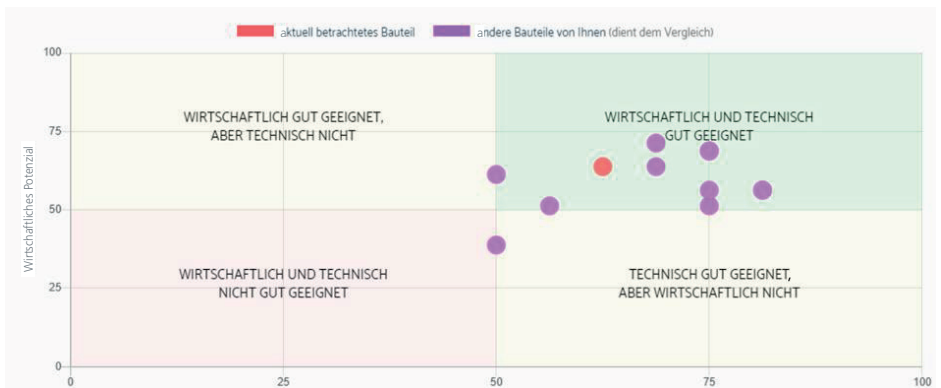


Bild 90: Ergebnisse der Bauteilbewertung anhand historischer Daten (eigene Darstellung)

## Produzentenauswahl.

Testteil A

### Bereitstellen der zugehörigen CAD-Datei.

Die folgende CAD-Datei ist bereits hinterlegt.

3D\_object.stl 

### Produzentenliste.

Die nachfolgend aufgeführten Produzenten sind technisch in der Lage das gewählte Bauteil zu fertigen.  
Sie können gewünschte Produzenten auswählen und diesen die Daten zu Ihrem Bauteil zukommen lassen.

Zertifizierungen wählen...

Zertifizierungen wählen... 

<input type="checkbox"/>	produzent.produzent	produzent.maschinenbezeichnung	produzent.full-preis
> <input type="checkbox"/>	Maler & Maler GmbH	Creality Ender 3 Pro	407,00 €

Bild 91: Ergebnisdarstellung der Auswahl eines geeigneten Produzenten für ein Bauteil (eigene Darstellung)

anhand historischer Daten sind zwei Tatsachen aufgefallen: Zum einen ist dies der benötigte Zeitaufwand eines Ersatzteilnachfragers zur Beschaffung der erforderlichen Daten für eine vollumfängliche Bauteilbewertung. Zum anderen ist die Anfälligkeit zur fehlerhaften Eingabe der Bauteildaten, beispielsweise durch Unachtsamkeit oder ungeschultes Personal, aufgefallen. Diese Erkenntnisse wurden in der Erstellung des Bewertungsschemas berücksichtigt, indem die drei Kennzahlen ‚Arbeitsaufwand zur Bereitstellung aller erforderlichen Bauteildaten‘, ‚Anzahl der Fehler bei der Eingabe‘ und die ‚Punktzahlabweichung durch die fehlerhafte Eingabe‘ mit aufgenommen wurden.

### Paarweiser Bauteilvergleich und Potenzialbewertung durch 3D-Druck-Experten:

Neben der Eingabe der Bauteildaten in die Softwarelösung wurden durch *Alstom Transport Deutschland*, *CompriseTec* und das *Fraunhofer IAPT* ebenfalls technische und wirtschaftliche Bauteilbewertungen basierend auf ihrem Expertenwissen durchgeführt. Die Expertenbewertung dient zur Kalibrierung der Gewichte der Bewertungskriterien der Softwarelösung. Um einen Vergleich des technischen und wirtschaftlichen Potenzials eines Bauteils auch in Relation zu den anderen Bauteilen der Liste ziehen zu können, wurde ein paarweiser Bauteilvergleich durchgeführt. Dazu wurde ein Bauteil einem anderen Bauteil gegenübergestellt und überprüft, welches der beiden Bauteile das höhere technische oder wirtschaftliche Potenzial aufweist. Bewertet wird mit 1 oder 0. Wenn ein Bauteil aus der linken Spalte mehr Potenzial aufweist als das Vergleichsbauteil aus der oberen Zeile, wird der Wert 1 vergeben. Weist dagegen das Bauteil aus der linken Spalte ein niedrigeres Potenzial auf als das Vergleichsbauteil der oberen Zeile, wird der Wert 0 vergeben. Die rechte Spalte gibt den prozentualen Anteil der Punkte an, die ein Bauteil von allen vergeben Punkten erreicht hat.

Als Ergebnis des paarweisen Bauteilvergleichs entsteht eine qualitative Reihenfolge der

	Filler-Hatch	Halter-Abdeckung	Halter-Türsäule	Bracket	Haltergriff	Abluftstutzen	Drehgestellschürze	Dämpferkonsole	Gehäuse Notsprechanlage	Abstandshalter	Summe	%
Filler-Hatch	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	7	15,56 %
Halter-Abdeckung	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	5	11,11 %
Halter-Türsäule	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	5	11,11 %
Bracket	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	5	11,11 %
Haltergriff	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	2	4,44 %
Abluftstutzen	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7	15,56 %
Drehgestellschürze	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,00 %
Dämpferkonsole	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2,22 %
Gehäuse Notsprechanlage	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	4	8,89 %
Abstandshalter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	20,00 %
											<b>Prüfsumme</b>	<b>100,00 %</b>

Bild 92: Auszug des paarweisen Bauteilvergleichs hinsichtlich des technischen Potenzials (eigene Darstellung)

Bauteile. Diese vereinfacht die anschließende prozentuale Potentialbewertung. Mit dieser Bewertung kann ein Vergleich zur Bewertung der Softwarelösung gezogen werden, die ebenfalls mit Werten zwischen 0 – 100 Prozent bewertet wird. Anhand der gemittelten Bauteilbewertungen der 3D-Druck-Experten wird die Softwarelösung kalibriert. Bild 93 (s. S. 150) zeigt die letztlich erreichte Bewertung der Softwarelösung sowie die minimale und maximale Expertenbewertung der Bauteile.

Die Bewertung der Softwarelösung liegt zum überwiegenden Teil im Intervall der

## Technisches Potenzial

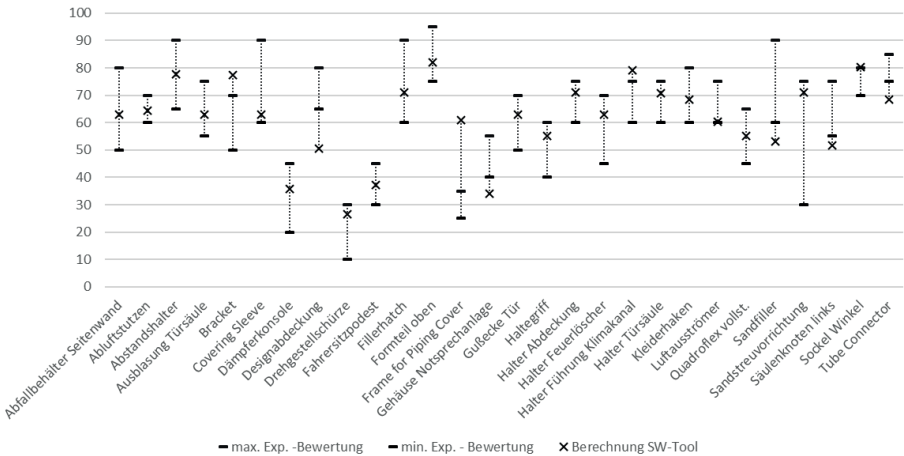


Bild 93: Bewertung des technischen Potenzials durch das SW-Tool und die 3D-Druck-Experten (eigene Darstellung)

Experteneinschätzungen. Die mittlere Abweichung zur gemittelten Experteneinschätzung liegt bei 7,3 Punkten. Einzelne Bauteile werden durch die Softwarelösung deutlich unterbeziehungsweise überbewertet. Ebenfalls wird deutlich, dass die Expertenmeinungen für ein Bauteil nicht eindeutig sind und teilweise deutlich voneinander abweichen, wodurch eine exakte Kalibrierung der Softwarelösung erschwert wird.

Bei der Einschätzung des wirtschaftlichen Potenzials erreicht die Softwarelösung eine durchschnittliche Abweichung von 11,4 Punkten zur gemittelten Experteneinschätzung. Bild 94 (s. S. 151) stellt, analog zu oben, die Einschätzungen der Softwarelösung der Experteneinschätzung gegenüber. Auch hier liegt die Bewertung der Mehrzahl der Bauteile innerhalb der Grenzen der Experteneinschätzungen. Abweichungen stellen sich sowohl als Unter- als auch als Überbewertungen dar, sodass kein Trend erkannt werden kann. Im Vergleich zur technischen Bewertung stellen sich die Abweichungen der wirtschaftlichen Bewertung deutlicher dar. Ebenso streuen die Einschätzungen der Experten deutlich stärker.

Durch den Vergleich der Potenzialbewertungen der 3D-Druck-Experten mit der Softwarelösung lassen sich die Grenzen der Softwarelösung erkennen. Sie erscheint für den angestrebten Einsatz als Bauteil-Vorauswahl ausreichend genau, kann allerdings

## Wirtschaftliches Potenzial

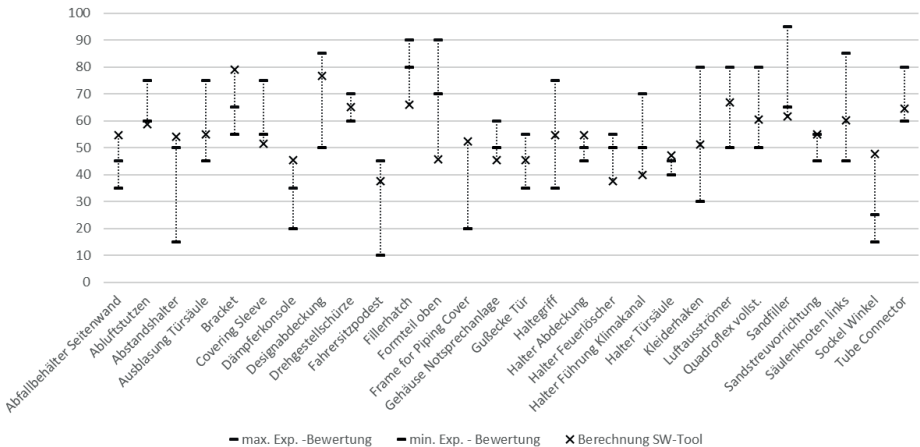


Bild 94: Differenzen der Bewertungen des wirtschaftlichen Potenzials der Softwarelösung gegenüber den 3D-Druck-Experten (eigene Darstellung)

im Einzelfall eine Experteneinschätzung nicht vollständig ersetzen. Prinzipiell sind Verbesserungen durch eine fortlaufende Kalibrierung sowie eine erhöhte Anzahl an Experteneinschätzungen zu erwarten.

### Definition von Kennzahlen und einer Erhebungs- und Auswertungsmethodik während des Probetriebs:

Um eine umfassende Validierung des Probetriebs vornehmen zu können – mit dem Ziel, belastbare Erkenntnisse über die Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit des Netzwerkszenarios zu erhalten – ist eine Erhebungs- und Auswertungsmethodik aufgestellt worden. Dabei ist ein Bewertungsschema mit 14 Kennzahlen entstanden (s. Bild 95, S. 152). Die aufgestellten Kennzahlen messen dabei unterschiedliche Aspekte der technischen Belastbarkeit und der Qualität der Ergebnisse der Softwarelösung, zudem die prozessuale Effektivität des Sollprozesses sowohl für den Probetrieb auf Seiten des LDLs als auch auf Seiten des Produzenten von additiven Bauteilen. Während der Bewertungsvergleich zwischen der Softwarelösung und den Experten im paarweisen Bauteilvergleich der Usecase-Definition beschrieben wird, werden die weiteren Kennzahlen im folgenden Probetrieb erläutert.

Die Datenquellen zur Erhebung der jeweiligen Kennzahlen sind vielfältig: Für einige

Kennzahlen stellen die Ergebnisse der Softwarelösung selbst die Datenquelle dar. Daneben wird allerdings auch auf den Quellcode der Softwarelösung, Zeitmessungen und das Expertenwissen der additiven Produzenten zurückgegriffen. Dabei stellen die meisten der zu erhebenden Kennzahlen quantitative Messungen dar. Eine Ausnahme bildet die Kennzahl des Arbeitsaufwands zur Vollständigkeit der Bauteildaten. Dies lässt sich nur schwer zeitlich ermitteln, weshalb auf qualitative Aussagen der Produzentenexperten zurückgegriffen wird.

KENNZAHL	BESCHREIBUNG	DATENQUELLE
TOOL-AUFRUFE	Absolute Anzahl der Tool-Aufrufe	Quellcode des SW-Tools
VERSUCHSANZAHL	Absolute Anzahl an Bauteilen, die im Probebetrieb verwendet werden	Bauteildaten der Ersatzteilmachfrage durch Alstom
DATENVOLLSTÄNDIGKEIT	Prozentualer Anteil von Bauteildaten, die bei erstmaliger Ersatzteilmachfrage vollständig/unvollständig zur Tool-Bewertung vorhanden sind	Bauteildaten der Ersatzteilmachfrage durch Alstom
ARBEITSAUFWAND	Einholung einer Expertenauskunft über die Dauer zur Vervollständigung der Bauteildaten	Produzentenexperten im Konsortium
FEHLERHAFTE EINGABE	Absolute Fehleranzahl der Bauteileingabe	Beobachtungsergebnis der Tool-Eingabe
PUNKTZAHLABWEICHUNG	Punktzahlabweichung der Bauteilbewertung durch fehlerhafte Tool-Eingaben	SW-Tool-Bauteilergebnis
BEWERTUNGSTOOL	Vergleich manuelle Einschätzung der Bauteileignung vs Einschätzung Softwaretool	Bauteilbewertung Softwaretool, manuelle Bauteilbewertung
PREIS	Vergleich des AM-Preises vs Preis konventioneller Fertigung / Beschaffung	Preis AM, Preis konventionell
REDESIGNZEIT	Zeit von Beauftragung Redesign bis Übergabe Datensatz	Zeitmessung zwischen Beauftragung und Übergabe
FERTIGUNGSZEIT	Zeit von Beauftragung bis Auslieferung (ab Werk)	Zeitmessung zwischen Beauftragung und Auslieferung
MINIMALE DURCHLAUFZEIT	Zeit von Beauftragung bis Auslieferung (ab Werk), wenn Fertigung sofort möglich	Zeitmessung zwischen Beauftragung und Auslieferung + Schätzung Verzögerung
LIEFERZEIT	Durchschnittliche Liefergeschwindigkeit / Zeit ab Werk bis Kunde	Zeitmessung /Lieferzeit ab Werk bis Kunde
MATCHINGERGEBNISSE	Prozentualer Anteil von positiven/negativen Matches Bewertung, ob gematchte Bauteile mit Maschine fertigbar sind	SW-Tool-Produzentenmatching, Anzahl Fertigungsanfragen, Anzahl fertigbarer Fertigungsanfragen
QUALITÄT	Prüfung gefertigter Eigenschaften	Zugprüfung, Dichtprüfung, Maßhaltigkeitsprüfung

Bild 95: Tabellarisches Bewertungsschema des Probebetriebs (eigene Darstellung)

### G.3 Durchführung des Probetriebs

Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP); Lars Schott (CompriseTec); Christian Sander, Raphael Hofstädter, Florian Hennecke (ALSTOM); Olaf Steinmeier, Yannick Llöw, RUBen Meuth, Juan Miguel Diaz del Castillo (IAPT)

Auf Basis der Usecase-Definition wurde mit einer Versuchsanzahl von 30 Bauteilen die Referenzstruktur für den LDL erprobt und gemäß dem aufgestellten Bewertungsschemas gemessen. Die 30 Bauteile wurden in drei Bauteilgruppen mit je zehn Bauteilen unterteilt. Da die erste Bauteilgruppe bereits zuvor intensiv betrachtet wurden, wird für die Durchführung des Probetriebs die zweite und dritte Bauteilgruppe verwendet.

#### Tool-Anfragen:

Um bei der Durchführung der Erprobung die technische Stabilität der Softwarelösung aufzuzeigen, wurde bei der Eingabe von Bauteildaten die Anzahl der Anfragen ermittelt, die innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens in der Softwarelösung entstehen. Dabei werden bei einer Anfrage Daten an den dahinterliegenden Server gesendet und verarbeitet. Es gilt: Je mehr Anfragen verschickt werden, desto höher ist die Belastung für die Softwarelösung und den Server. Im Bild 96 ist neben der Belastung durch die initialen Anfragen des Startens der Softwarelösung eine schwankende Anfragenanzahl zu erkennen, die bei der Eingabe der Bauteildaten der zweiten Bauteilgruppe entstanden ist. Dennoch war das reibungslose Funktionieren der Softwarelösung gewährleistet,

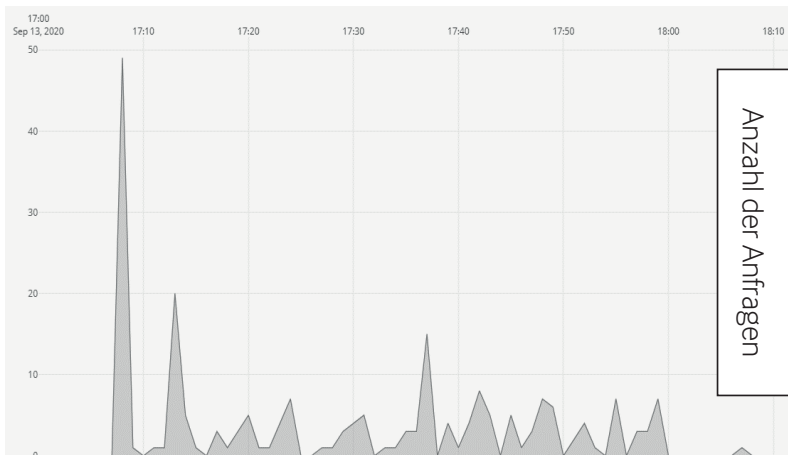


Bild 96: Anzahl der Aufrufe bei der Eingabe der Bauteildaten der zweiten Bauteilgruppe (eigene Darstellung)

sodass nachgewiesen werden konnte, dass selbst bei einer schnellen und kontinuierlichen Eingabe von Bauteildaten die Funktionstüchtigkeit der Softwarelösung nicht gefährdet ist.

### Datenvollständigkeit:

Die Kennzahl der Datenvollständigkeit misst die Anzahl der Bauteile, welche durch eine vollständige Datengrundlage charakterisiert sind. Auf dieser Basis ist der Mehraufwand für Ersatzteilnachfrager bzw. in weiterführender beratender Funktion für den LDL, um vollständige Potenzialbewertungen für Bauteile mithilfe der Softwarelösung durchführen zu können, abschätzbar. Die Ergebnisse der Analyse der Datenvollständigkeit sind in Bild 97 dargestellt. Bei der zweiten Bauteilgruppe lagen bei 60 Prozent der Bauteile alle notwendigen Daten zur Potenzialbewertung ohne großen Rechercheaufwand vor. Bei 30 Prozent der Bauteile konnten nach einigem Rechercheaufwand die erforderlichen Bauteildaten bestimmt werden. Bei zehn Prozent konnte trotz erheblichen Rechercheaufwandes keine Datenvollständigkeit erreicht werden, womit eine Bauteilbewertung nicht möglich ist. In der dritten Bauteilgruppe konnten für 90 Prozent der ausgewählten Bauteile vollständige Bauteildaten für die Potenzialbewertung mittels der Softwarelösung ermittelt werden. Für die restlichen zehn Prozent konnten die fehlenden Bauteildaten ermittelt werden. Auf Basis der Ergebnisse kann zusammengefasst werden, dass die vorherige Annahme einer positiven oder negativen 3D-Druck-Bewertung nicht ausschlaggebend für das Vorliegen von vollständigen Datensätzen ist. Entsprechend den Ergebnissen der zweiten Bauteilgruppe kann im Falle einer positiven Vorabbeurteilung der Rechercheaufwand für

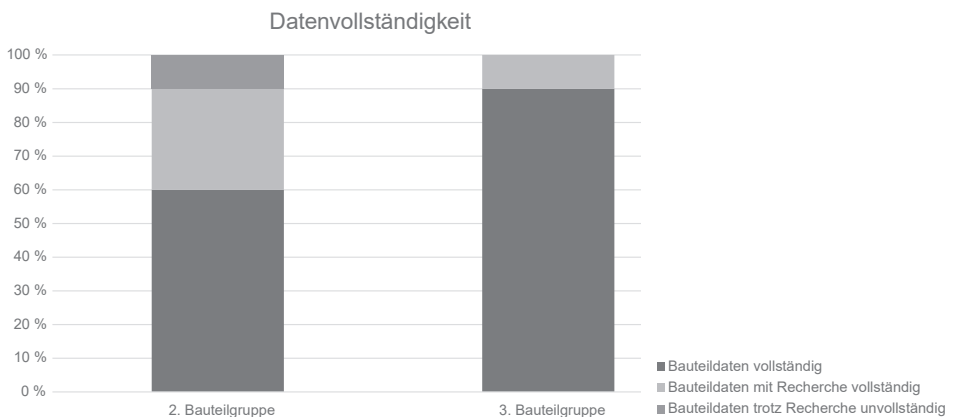


Bild 97: Datenvollständigkeit der Bauteile (eigene Darstellung)



die zusätzlichen Bauteildaten hoch sein und ggf. sind die Daten sogar nicht ermittelbar. Demnach ist der Aspekt der Datenvollständigkeit individuell für jedes Bauteil zu betrachten. Der Aufwand zur Datenerhebung hängt folglich nicht von der vorherigen Annahme eines positiven oder negativen Ergebnisses zur 3D-Druckfähigkeit ab, sondern von bereits vorhandenen Informationen.

### **Aufwand zur Informationsbeschaffung:**

Um den Aufwand zur Informationsbeschaffung der Bauteildaten zu ermitteln, wurden von *TOP Mehrwert-Logistik* Experteninterviews mit Alstom geführt und eine Aufwandstabelle erstellt. In dieser Aufwandstabelle sind die Kriterien festgelegt, die den Aufwand der Datenermittlung in einfach, mittel und schwer unterteilt. Als Grundlage zur Erstellung dienen die 30 Bauteile des Probetriebs. Dabei sind die sechs Kriterien „Zeitaufwand pro Bauteil“, „Kosten pro Bauteil“, „Personaleinsatz pro Bauteil“, „Bauteilverteilung“, „Datenvoraussetzung“ und „Schwer zu messendes Bauteilmerkmal“, aufgestellt worden.

Der Zeitaufwand pro Bauteil stellt einen Durchschnittswert für das jeweils betrachtete Kriterium dar und beinhaltet nur die Recherchezeit und keine Wartezeiten. Bei einem Bauteil mit einfach zu ermittelnden Bauteildaten beträgt der Zeitaufwand eine halbe Stunde. Bei mittleren Aufwänden werden 45 Minuten benötigt. Schwer zu ermittelnde Bauteildaten erfordern einen durchschnittlichen Zeitaufwand von 1,5 Stunden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass es vereinzelt auch zu längeren Zeiten kommen kann bzw. die im schlimmsten Fall auch nicht vollständig ergänzt werden können. Die Kosten pro Bauteil umfassen die Personalkosten zur Ermittlung der Bauteildaten. Bei einfach zu ermittelnden Daten fallen durchschnittlich Kosten von 42,50 Euro an, in der mittleren Kategorie belaufen sich die Kosten auf 63,75 Euro und bei schwer zu ermittelnden Bauteildaten auf 127,50 Euro.

Die Anzahl der benötigten Mitarbeiter, die für die Bauteildatenermittlung erforderlich sind, hängt von dem Rechercheaufwand ab. In der einfachen Kategorie ist ein Mitarbeiter ausreichend, um die zur Toolbewertung notwendigen Daten zu erheben. In der mittleren Kategorie sind zwei Mitarbeiter erforderlich und die schwere Kategorie erfordert drei bis vier Mitarbeiter, um die Bauteildaten vollständig und korrekt zu erheben.

Bei der Bauteilverteilung wird anhand der im Probetrieb verwendeten Bauteile eine Verteilung in die jeweilige Kategorie vorgenommen. Dabei wird deutlich, dass der Großteil der Bauteile in die mittlere Kategorie fällt und die weiteren Bauteile sich gleichmäßig auf die einfache und schwere Kategorie verteilen. Es existieren verschiedene Voraussetzungen für die Erhebung von Bauteildaten, abhängig von der jeweiligen Kategorie. In der einfachen Kategorie stehen CAD-Dateien und Informationen zum

Brandschutz, der Oberflächengüte und dem Material zur Verfügung. In der mittleren Kategorie liegen nicht mehr sämtliche Voraussetzungen zur einfachen Datenerhebung vor. So können eine CAD-Datei und weitere Spezifikationen zur schnellen Erhebung vollständiger Bauteildaten fehlen. In der schweren Kategorie liegt ggf. nur ein Foto des Bauteils vor oder das Bauteil muss im eingebauten Zustand betrachtet und anhand dessen die erforderlichen Daten abgeleitet werden.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Voraussetzungen, unter denen die für die Tool-Bewertung erforderlichen Bauteildaten ermittelt werden, ergeben sich unterschiedliche Hindernisse und Schwierigkeiten. So ist in der einfachen Kategorie die Bewertung des technischen Potenzials hinsichtlich der Integralbauweise, der Funktionsintegration und der Leichtbauweise schwierig. Dagegen ist in der mittleren Kategorie die korrekte Ermittlung des Beschaffungspreises eine Herausforderung. In der schweren Kategorie ist die Erhebung der Bauteildaten und der Anforderungen an das Bauteil eine besondere Schwierigkeit.

Kriterium	Bewertung		
	einfach	mittel	schwer
Zeitaufwand pro Bauteil	1/2 Std.	3/4 Std.	1 1/2 Std.
Kosten pro Bauteil (Bestimmt durch Personalkosten)	42,50 € / Bauteil	63,75 € / Bauteil	127,50 € / Bauteil
Personaleinsatz pro Bauteil	1 Mitarbeiter	2 Mitarbeiter	3 – 4 Mitarbeiter
Bauteilverteilung	7	16	7
Voraussetzungen	CAD-Datei; Brandschutz; Oberflächengüte; Material; Bauteilnummer	Fehlen einer CAD-Datei; fehlende Spezifikationen; Unterkomponente eines Lieferantensystems	Nur Foto des Bauteils vorhanden; Betrachtung des eingebauten Bauteils
schwer zu messende Bauteilmerkmale	technisches Potenzial (Integralbauweise, Funktionsintegration/ Leichtbauweise)	Beschaffungspreis	Bauteildaten und -anforderungen

Bild 98: Aufwandstabelle zur Klassifizierung von Bauteilen hinsichtlich ihrer Datenvollständigkeit (eigene Darstellung)

### **Fehleranzahl und Punktzahlabweichung:**

Bei den Kennzahlen der Fehleranzahl und der daraus resultierenden Punktzahlabweichung der Bauteilbewertungen sollen sowohl Erkenntnisse für den weiteren Schulungsbedarf für den LDL gewonnen als auch die Abweichung der Ergebnisse der Bauteilbewertung, die entsprechende Eingabefehler nach sich ziehen, überprüft werden. Dazu wurden die Bauteildaten von bisher ungeschultem Personal bei TOP Mehrwert-Logistik in die Softwarelösung eingegeben und mit den korrekten Ergebnissen der Bauteilbewertungen verglichen.

Hierzu wurden zunächst die Bauteile der zweiten Bauteilgruppe für den Test herangezogen. Es handelt sich hierbei nur um neun anstatt um zehn Bauteile, da bei der Erhebung der Datenvollständigkeit bereits ermittelt werden konnte, dass trotz Rechercheaufwandes nicht für jedes Bauteil die erforderlichen Daten ohne 3D-Zeichnung erhoben werden können. Die Bauteildaten sind von nicht speziell für diesen Anwendungsfall geschultem Personal bei TOP Mehrwert-Logistik eingegeben worden. Unter ungeschultem Personal ist dabei zu verstehen, dass zwar die technische Bedienung der Softwarelösung einmal gezeigt wurde, allerdings noch keine Erklärungen zur korrekten Eingabe der Bauteildaten zu den jeweiligen Eingabefeldern gegeben wurde.

Beim Vergleich des technischen Potenzials der Bauteile durch ungeschultes Personal zu geschultem Personal lässt sich erkennen, dass bei fünf Bauteilen die Eingabe korrekt war und somit keine Punktzahlabweichung des technischen Potenzials gemessen werden konnte. Bei den übrigen vier Bauteilen wurden Abweichungen gemessen. Somit ist bereits zu erkennen, dass trotz einer Mehrheit an korrekt bewerteten Bauteilen dennoch spezifischerer Schulungsbedarf vorhanden ist, um fehlerhafte Bewertungen zu vermeiden (s. Bild 99, S. 158).

Bei der Betrachtung der resultierenden Ergebnisdifferenzen und der Anzahl der Eingabefehler, die dazu geführt haben, fällt zunächst eine positive als auch negative Abweichung auf. So bewegen sich die Differenzen zwischen 6,25 und -12,5 Punkten. Für diese Abweichung reichten bereits 1-2 Eingabefehler aus (s. Bild 100, S. 158). Die Punktzahlabweichungen entstanden durch versehentliche Eingabefehler bei der mechanischen Belastung und den Maßangaben des Bauteils als auch die Auswahl des falschen Materials durch ungenügendes Wissen der Zuordnung des Materials aus der Bauteilliste. Somit ist bei Schulungen neben der Vermeidung von versehentlichen Flüchtigkeitsfehlern und einer erneuten Kontrolle auch auf die existierenden Materialien für den 3D-Druck und deren Zuordnung zu den, in der Softwarelösung hinterlegten, Materialgruppen hinzuweisen.

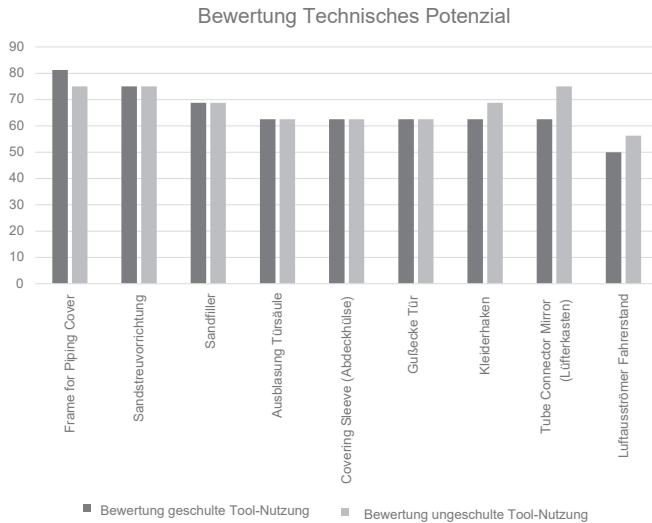


Bild 99: Geschulte vs. ungeschulte Bewertung des technischen Potenzials der zweiten Bauteilgruppe (eigene Darstellung)

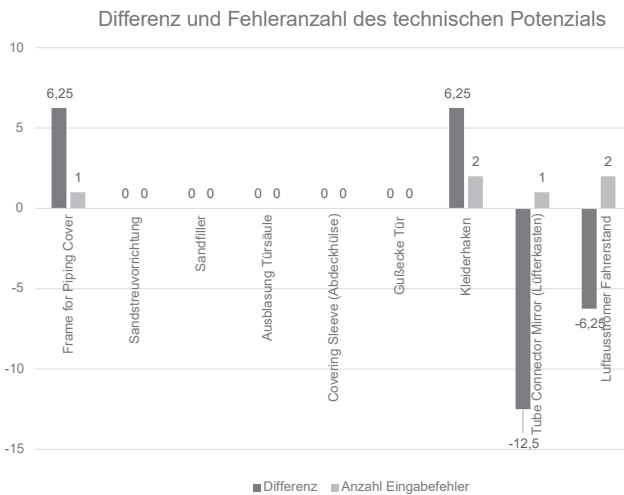


Bild 100: Differenz der Bewertung des technischen Potenzials und Anzahl der Eingabefehler der zweiten Bauteilgruppe (eigene Darstellung)

Neben dem technischen Potenzial wurden auch die Ergebnisse des wirtschaftlichen Potenzials verglichen. Hierbei wurden bei sechs von neun Bauteilen die Bauteildaten korrekt eingegeben und somit eine Ergebnisübereinstimmung zwischen den verschiedenen Schulungsniveaus erzielt. Im Vergleich zur Bauteileingabe des technischen Potenzials konnte beim wirtschaftlichen Potenzial die Anzahl an Bauteilen mit fehlerhafter Bewertung um ein Bauteil reduziert werden (s. Bild 101).

Auch bei der Betrachtung der Punktzahl des wirtschaftlichen Potenzials fallen Abweichungen sowohl im positiven als auch negativen Bereich auf. Die Punktzahlabweichungen belaufen sich dabei zwischen 15 und -15 Punkten, womit eine größere Differenz als beim technischen Potenzial zu beobachten ist. Bei der absoluten Anzahl der Eingabefehler wird deutlich, dass bereits ein bis zwei fehlerhafte Eingaben ausreichen, um eine signifikante Ergebnisabweichung zur Folge zu haben (s. Bild 102, S. 160).

Die Eingabefehler sind sowohl bei der falschen Auswahl der Maßeinheit für das Bauteilvolumen und Auswahl der Bauteilfläche als auch bei der Auswahl der falschen Materialgruppe entstanden. Somit kann durch diese Ergebnisse bestätigt werden, dass Schulungsbedarf zur Vermeidung von Flüchtigkeitsfehlern notwendig ist.

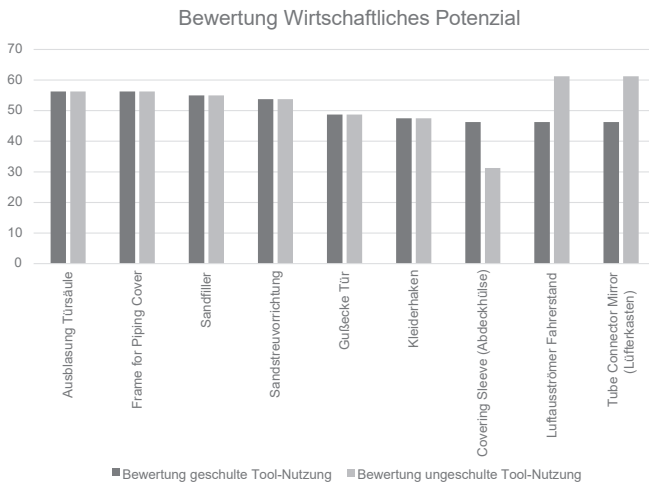


Bild 101: Geschulte vs. ungeschulte Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials der zweiten Bauteilgruppe (eigene Darstellung)

## Differenz und Fehleranzahl des wirtschaftlichen Potenzials

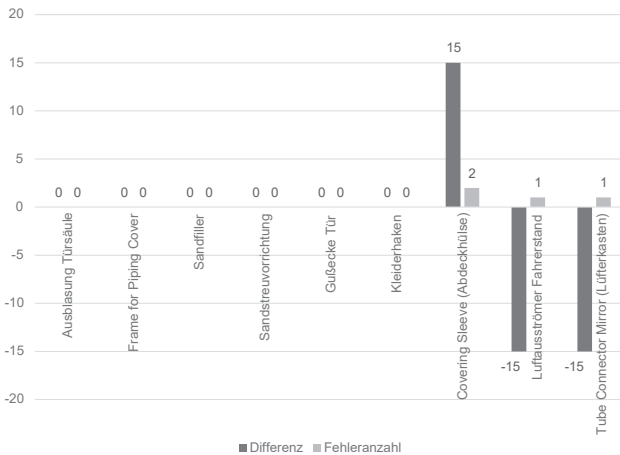


Bild 102: Differenz der Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials und Anzahl der Eingabefehler der zweiten Bauteilgruppe (eigene Darstellung)

Auch bei der Eingabe der Bauteildaten der dritten Bauteilgruppe sind Unterschiede bei der Bauteilbewertung durch ungeschultes Personal im Vergleich zur korrekten Eingabe ermittelt worden. Von den zehn Bauteilen der dritten Bauteilgruppe sind bei drei Bauteilen Abweichungen sowohl bei der technischen als auch der wirtschaftlichen Bewertung des additiven Potenzials ermittelt worden. Ebenso wie bei der zweiten Bauteilgruppe sind die fehlerhaften Bewertungen der dritten Bauteilgruppe auf Flüchtigkeitsfehler bei der Eingabe der Daten zurückzuführen.

### Preisvergleich:

Der Preisvergleich zwischen der konventionellen Fertigung und dem 3D-Druck basiert lediglich auf den Fertigungskosten und wird anhand von acht Bauteilen durchgeführt, bei denen im Verlauf des Projekts die additive Herstellung erfolgt ist. Die Bauteile sind in Bild 103 (s. S. 161) übersichtlich dargestellt.

Bei der Mehrheit der betrachteten Bauteile ist die konventionelle Fertigung nach wie vor kostengünstiger im Vergleich zur additiven Fertigung. Allerdings ist in einigen Fällen, wie z. B. beim Fillerhatch und beim Sandfiller, die additive Fertigung auch aus wirtschaftlichen Gründen der konventionellen Fertigung vorzuziehen. Der

Kostenfaktor ist oftmals nicht der ausschlaggebende Aspekt bei der Bestellung eines Ersatzteils mittels additiver Fertigung, sondern die Dringlichkeit des Ersatzteils und die potenzielle Gewichtsreduktion durch das Redesign eines Ersatzteils.

Fertigungskosten (Euro pro Stück)		
	additive Herstellung	konventionelle Herstellung
Sandauslass	1.200,00 €	385,00 €
Handgriff	1.012,00 €	80,00 €
Fillerhatch	230,00 €	260,00 €
Sandfiller	340,12 €	385,00 €
Luftausströmer	133,35 €	17,00 €
Haltegriff Sitz	86,57 €	80,00 €
Kleiderhaken	62,66 €	1,36 €
Abluftstutzen	102,51 €	15,84 €

Bild 103: Vergleich der konventionellen und additiven Fertigungskosten für die gedruckten Bauteile (eigene Darstellung)

Für die zwei Bauteile des Sandauslasses und des Handgriffs konnte zusätzlich ermittelt werden, wie hoch die Fertigungskosten pro Bauteil bei kompletter Ausnutzung des Bauraums des 3D-Druckers sind (siehe Tabelle G 4). Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die Kosten pro gefertigtes Bauteil bei der vollständigen Ausnutzung des Bauraums bedeutend niedriger sind. Beim Bauteil „Sandauslass“ können im dafür geeigneten 3D-Drucker bis zu 6 Bauteile gefertigt werden. Die Fertigungskosten pro Stück können dabei auf 290,00 Euro gesenkt werden. Ebenso können die Fertigungskosten beim Bauteil „Handgriff“ pro Stück auf 170,00 Euro reduziert werden, wenn der Bauraum vollumfänglich genutzt wird und bis zu 28 Bauteile gleichzeitig produziert werden. Damit kann bei der Ersatzteilbestellung ein signifikanter Kostenvorteil erreicht werden.

Allerdings muss dazu gesagt werden, dass sich bei der vollständigen Bauraumnutzung die Durchlaufzeiten erhöhen. Wenn der Bauraum des 3D-Druckers voll ausgenutzt wird, erhöht sich beim Bauteil Sandauslass die Durchlaufzeit auf 37,3 Stunden. Beim Bauteil „Handgriff“ beträgt die Durchlaufzeit bei voller Nutzung des Bauraums des 3D-Druckers 78,5 Stunden, womit sie sich mehr als verdoppelt im Vergleich zur Herstellung eines einzelnen Handgriffs.

	Teile/Baujob	Fertigungskosten (Euro pro Stück)	Durchlaufzeit (In Stunden)
Sandauslass	1	1.200,00 €	27,3 Std.
	6	290,00 €	37,3 Std.
Handgriff	1	1.012,00 €	29,5 Std.
	28	170,00 €	78,5 Std.

Bild 104: Vergleich Sandauslass und Handgriff (eigene Darstellung)

### Zeiten:

Um die Dauer des Sollprozesses in Erfahrung zu bringen und damit Werte zu erhalten, mit denen in der Realität für die Bereitstellung eines Ersatzteils mittels der additiven Fertigung gerechnet werden kann, wurden die Zeiten vom Redesign, der minimalen Durchlaufzeit wie auch der Lieferzeit gemessen. Die Redesignzeit beginnt mit der Beauftragung des Redesigns und endet mit der Übergabe des Datensatzes. Die minimale Durchlaufzeit beginnt mit der Beauftragung des Drucks und endet mit der Auslieferung. Die Lieferzeit umfasst den Zeitraum von der Abholung des Bauteils beim Produzenten bis zur Lieferung beim Kunden. Eventuell anfallende Wartezeiten sind zur Vereinfachung der Messung nicht berücksichtigt worden. Basierend auf den drei Größen wurde die Gesamtzeit zur Durchführung des Sollprozesses berechnet. Die Zeiten sind für die acht additiv gefertigten Bauteile gemessen worden. Die benötigte Zeit zur Datenidentifikation und -beschaffung wurde nicht in dieser Kalkulation berücksichtigt, da dies für jedes Bauteil gemäß den zur Verfügung stehenden Bewertungsgrundlagen sehr individuell ist und somit die eigentlichen Zeiten des Sollprozesses verfälscht würden. Demnach wurde die Annahme getroffen, dass die erforderlichen Daten zur Tool-Bewertung bereits vollständig vorliegen. Zudem wurde die Dauer der Eingabe nicht berücksichtigt, da dies ein Vorgang von wenigen Minuten und somit wenig aussagekräftig ist. Die Lieferzeit für die acht Bauteile ist identisch, da die Akteure gleichbleibend sind. Der Druck der Bauteile erfolgte beim *Fraunhofer IAPT* bzw. bei der *CompriseTec GmbH* und der Ersatzteilmachfrager wird dargestellt durch *Alstom Transport Deutschland*.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Gesamtzeit von der Ersatzteilanfrage bis zur Auslieferung beim Nachfrager zwischen 48 und 70 Stunden liegt. Dies stellt dabei einen Idealwert dar, der ohne Wartezeiten und Unwägbarkeiten entsteht. Wesentliche Zeitaufwände entstehen dabei durch die Redesign- und die minimalen Durchlaufzeiten, während die Lieferzeiten einen wesentlich kleineren Zeitfaktor darstellen.



Zeitdauer (in Stunden)				
	Redesignzeit	minimale Durchlaufzeit	Lieferzeit	Gesamtzeit
Sandauslass	40 Std.	27,3 Std.	2,1 Std.	69,4 Std.
Handgriff	16 Std.	29,5 Std.	2,1 Std.	47,6 Std.
Fillerhatch	60 Std.	36 Std.	2,1 Std.	98,1 Std.
Sandfiller	28 Std.	82 Std.	2,1 Std.	112,1 Std.
Luftausströmer	32 Std.	28 Std.	2,1 Std.	62,1 Std.
Haltegriff Sitz	12 Std.	14 Std.	2,1 Std.	28,1 Std.
Kleiderhaken	24 Std.	7 Std.	2,1 Std.	33,1 Std.
Abluftstutzen	26 Std.	14 Std.	2,1 Std.	52,1 Std.

Bild 105: Tabellarische Aufstellung der Zeit für das Redesign, der minimalen Durchlaufzeit, der Lieferzeit sowie der Gesamtzeit (eigene Darstellung)

### Matchingergebnisse:

Mit dieser Kennzahl wird der Anteil an positiven und negativen Matchingergebnissen gemessen. Bei einem positiven Match kann dabei ein passender Produzent für das Bauteil mittels der Softwarelösung gefunden werden, während bei einem negativen Match derzeit kein geeigneter Produzent verfügbar ist. Die Ergebnisse der Analyse der Matchingergebnisse sind in Bild 106 (s. S. 164) dargestellt.

Dabei lassen sich in der zweiten Bauteilgruppe bei sechs von neun Bauteilen mit dem derzeit hinterlegten Maschinenpark passende Produzenten finden.

In der dritten Bauteilgruppe sind Bauteile ausgewählt worden, von denen vorab vermutet wurde, dass eine tendenziell negative Potenzialbewertung hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen 3D-Druck-Fähigkeit erfolgen wird. Diese Vermutung wird durch das Ergebnis der positiven bzw. negativen Produzentenmatches für die dritte Bauteilgruppe untermauert. So lassen sich nur für drei von zehn Bauteilen passende Produzenten finden. Bei den übrigen sechs Bauteilen waren die Matchingergebnisse negativ, womit kein geeigneter Produzent mittels der Softwarelösung ermittelt werden konnte.

### Qualität:

Im Probetrieb erfolgt der Qualitätsnachweis für additiv gefertigte Metallbauteile anhand der thermographischen Aufnahmen aus dem Prozess-Monitoring. Zusätzlich

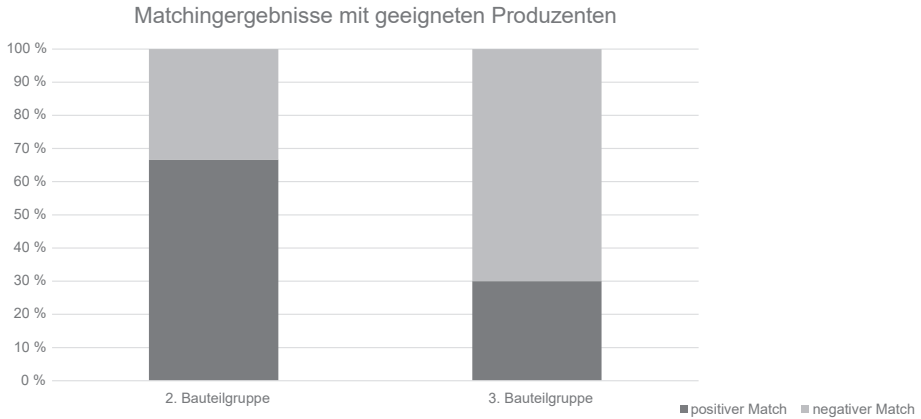


Bild 106: Anteil der positiven und negativen Produzentenmatches für die Bauteilgruppen 2 und 3 (eigene Darstellung)

kann der Nachweis durch die Analyse von Fertigungsbegleitproben aus dem AM-Prozess gestützt werden. Exemplarisch ergibt die mechanische Prüfung von elf Proben aus dem Baujob eines Sandauslasses für den Werkstoff AlSi10Mg eine durchschnittliche Zugfestigkeit von 269 MPa mit einer maximalen Abweichung von nur 3 Prozent (siehe Bild 107). Die Einhaltung der AM-typischen mechanischen Kennwerte korreliert mit den Sensordaten aus der Prozessüberwachung, die keine relevanten Auffälligkeiten zeigen und demzufolge anforderungsgemäße Bauteileigenschaften erwarten lassen.

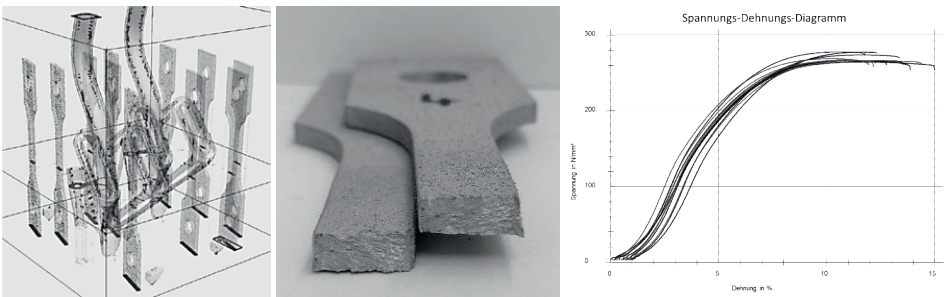


Bild 107: Qualitätssicherung durch Prozess-Monitoring des AM-Baujobs (links), Bruchflächenanalyse von Fertigungsbegleitproben (Mitte) und Prüfung mechanischer Kennwerte (rechts) (eigene Darstellung)

## H. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Philipp Häfker, Christopher Kirf, Regina Loitz (TOP)

### Zusammenfassung

Die Zusammenfassung der Projektergebnisse orientiert sich an den zu Beginn des Projekts aufgestellten vier zentralen Forschungsfragen.

#### 1. Was ist für einen LDL die kleinstmögliche Informationsgrundlage, um die Vermittlung von Ersatzteilen vorzunehmen?

Um eine hinreichende Informationsgrundlage für den LDL zur selbständigen Auswahl von 3D-Druck-Produzenten im Rahmen des Ersatzteilwesens oder der Ersatzteillogistik zu schaffen, ist zunächst eine Analyse der Machbarkeit der Anwendung additiver Herstellungsverfahren mittels einer bauteilbezogenen Potenzialbewertung erforderlich. Hierfür fand zunächst eine Unterteilung des Betrachtungsbereichs des Bauteilespektrums gemäß deren additiver Fertigbarkeit und dem Nutzen statt. Die Unterteilung erfolgte nach dem Schema „ABCD“, wobei die Bauteilkategorie „A“ Bauteile darstellt, die ohne großen Aufwand additiv gefertigt werden können und die Bauteilkategorie „D“ Bauteile mit hohem Aufwand zur additiven Fertigung und geringem Nutzen beinhaltet.

Ausgehend von diesem Betrachtungsbereich wurden die Bauteilanforderungen für die Entwicklung der benötigten AM-Fertigungsprozessketten abgeleitet. Dabei wurden 29 Bauteilanforderungen identifiziert.

Kompetenz- und Kapazitätsmerkmale für die Bestimmung geeigneter Lieferanten stellen eine weitere wichtige Informationsgrundlage für die Produzentenauswahl in der Ersatzteillogistik dar. Für die drei Ersatzteilversorgungstypen des zeitkritischen additiven Fertigungsszenarios ohne Lagerung, des zeitunkritischen additiven Fertigungsszenarios ohne Lagerung und des konventionellen Fertigungsszenarios mit Lagerstruktur sind die Kernmerkmale und Kompetenzen eines Lieferanten *Zeit, Kosten, Qualität* und die *strategische Ausrichtung*.

## 2. Wie könnte ein Referenzmodell zur dezentralen Ersatzteilversorgung großer Industrieunternehmen gestaltet werden?

Damit eine detaillierte Beschreibung der Rollen im Referenzmodell erfolgen kann, wurde eine Wertschöpfungskette für additiv hergestellte Ersatzteile gebildet. In dieser Wertschöpfungskette bilden der Kunde, der digitale Distributor, der AM-Entscheider, der Verantwortliche für die Produzentenauswahl, der AM-Dienstleister und der Transporteur die relevanten Rollenprofile. In dem Supply-Chain-Konzept wendet sich der Kunde, nachdem der Ersatzteilbedarf vorhanden ist, an den AM-Entscheider. Dieser berät den Kunden bezüglich der Vorteilhaftigkeit additiver oder konventioneller Fertigung des gewünschten Ersatzteils. Der digitale Distributor ist für die sichere Übertragung der Bauteil- und Konstruktionsdaten wie beispielsweise CAD-Daten verantwortlich. Anhand der bereitgestellten Daten und des Urteils des AM-Entscheidungers wählt der Verantwortliche für die Produzentenauswahl einen geeigneten Produzenten aus. Im Anschluss an die Auswahl eines geeigneten AM-Dienstleisters stellt die Rolle des digitalen Distributors dem AM-Dienstleister die Bauteil- und Konstruktionsdaten zur Verfügung. Basierend auf den bereitgestellten CAD-Daten fertigt der AM-Dienstleister das Ersatzteil, welches der Transporteur im Anschluss zum Kunden transportiert.

Basierend auf dieser Wertschöpfungskette für additiv hergestellte Ersatzteile sind sechs Szenarien für den LDL entwickelt worden:

- Szenario 0: LDL als Transporteur
- Szenario 1: LDL als digitaler Distributor
- Szenario 2: LDL als AM-Entscheider
- Szenario 3: LDL als Verantwortlicher für die Produzentenauswahl
- Szenario 4: LDL als AM-Dienstleister
- Szenario 5: LDL als Bestandsmanager

Hierbei übernimmt der LDL die einzelnen Tätigkeiten der Rollenbeschreibungen. Beim Szenario 5 „Der LDL als Bestandsmanager“ deckt der LDL dabei sämtliche im Vorfeld beschriebenen Tätigkeiten zusammen ab. Abhängig von der Beauftragung des Kunden ist es für den LDL auch möglich, nur einzelne Rollen der Ersatzteillistik mittels additiver Fertigung zu übernehmen. Die Frage, wann konkret der LDL welche Rolle ausfüllt, steht im vorliegenden Forschungsvorhaben jedoch nicht im Fokus.

### **3. Wie lässt sich ein zielgerichtetes Informationsmanagementsystem zur Kommunikation zwischen Kunde, LDL und Produzent gestalten?**

Zunächst wurden von den drei Nutzergruppen LDL, Ersatzteilmachfrager und 3D-Druck-Dienstleister die jeweiligen Anforderungen aufgenommen, die an die Softwarelösung gestellt werden. Das Ergebnis sind funktionale und nicht-funktionale Anforderungen, die in die Bereiche Bauteilvorauswahl, Produzentensuche, Datenverwaltung und Authentifizierung eingeteilt wurden. Zusätzlich konnten die funktionalen Anforderungen in die Bereiche der technischen Umsetzung wie auch die Nutzbarkeit unterteilt werden.

Auf Basis der Anforderungserhebung sind im Datenmodell die drei Benutzerrollen des Abnehmers von additiv hergestellten Bauteilen, des Produzenten von additiv hergestellten Bauteilen und des Administrators definiert worden. Zusätzlich wurden das Datenmodell der Bauteilvorauswahl und der Produzentensuche konzipiert und es erfolgte die Spezifikation der Materialdatenbank, in der zur Erfassung der Materialeigenschaften insgesamt 25 Eigenschaften für jedes Material erfasst wurden. Nach dem Aufbau des Datenmodells konnte anschließend die Softwarelösung implementiert werden, wobei neben der Gestaltung der grafischen Benutzeroberfläche auch die einzelnen Funktionalitäten der Bauteilvorauswahl, der Produzentensuche und der Verwaltungsfunktionen aufgesetzt wurden.

### **4. Wie schafft ein heutiger LDL die Transformation zu einem modernen Informationsdienstleister?**

Um die Transformation eines LDLs zu einem modernen Informationsdienstleister zu gestalten, sind mittels des Business-Model-Canvas und des VPC tragfähige Geschäftsmodelle entwickelt worden. Der Fokus lag dabei auf den Szenarien des LDLs als AM-Entscheider und Verantwortlicher für die Produzentenauswahl. Mittels des BMC und VPC wurde zusätzlich noch das Geschäftsmodell des LDLs als Bestandsmanager betrachtet. Auch im Zuge der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind die Szenarien ‚LDL als AM-Entscheider‘ wie auch ‚Verantwortlicher für die Produzentenauswahl‘ zu einem positiven Ergebnis gelangt. Aus diesem Grund wurden diese beiden Anwendungen ausgewählt und mittels des Business-Transformation-Canvas wurde näher betrachtet, wie die strukturelle, prozessuale wie auch personelle Umsetzung der Transformation gestaltet werden kann.

Die Aspekte des BMC, VPC und des Business-Transformation-Canvas sind in der Erprobung der Referenzstruktur zentral und fanden deshalb in der Ausgestaltung des Sollprozesses zur Durchführung des Probetriebs besondere Berücksichtigung. Anhand dieses Sollprozesses für die Durchführung der Erprobung, der die oben genannten Szenarien umfasst, ist ein Bewertungsschema aufgesetzt worden. Mittels dieses Bewertungsschemas ist die Leistungsfähigkeit der Referenzstruktur und der Softwarelösung erprobt worden.

## Ausblick

### 3Dprint-Knowledge-Base

Die Aufgabe der 3Dprint-Knowledge-Base besteht darin, möglichst umfangreiches Wissen über additive Fertigung objektiv zu speichern und potenziellen Anwendern verfügbar zu machen. Da dieses Wissen als Entscheidungsgrundlage zur Prozess- und Produzentenauswahl dient, ist es unbedingt notwendig, dass die Datensammlung stets den aktuellen Stand der Technik widerspiegelt. Die AM-Technologie befindet sich noch immer in einem Wachstumsstadium zahlreicher Innovationssprünge und schneller Fortschritte. Neue oder optimierte 3D-Druckverfahren versprechen höhere Produktivität und somit geringere Kosten, neue Anlagen ermöglichen größere Werkstücke, neue Materialien werden für die additive Fertigung qualifiziert und bieten verbesserte Eigenschaften, beispielsweise im Hinblick auf den Brandschutz gedruckter Kunststoffbauteile. Nur wenn die Knowledge-Base permanent gepflegt und aktualisiert wird, kann sie ihren Zweck erfüllen.

Die Komplexität der Entscheidungsprozesse nimmt generell zu. Die Auswahl der Fertigungsmethode erfolgt nicht nur auf Basis der Herstellungskosten, sondern stattdessen werden zusätzliche Kriterien wie z. B. funktionale Verbesserungen der Bauteile oder ethische und ökologische Aspekte in die Bewertung der Fertigungsalternativen einbezogen. Diese umfassendere Betrachtung bedeutet eine Ausdehnung der Systemgrenzen für die Abschätzung jedes Einzelfalls und erfordert dabei die Integration weiterer Informationen in die Knowledge-Base. Monetär bewertbare und nicht monetär bewertbare Kriterien sind zu gewichten, zu vergleichen und in eine Gesamtbeurteilung zu überführen, um eine systematische und reproduzierbare Entscheidungsfindung zu gewährleisten.

Die 3Dprint-Knowledge-Base soll künftig auch zur Unterstützung der strategischen Ausrichtung von Ersatzteilversorgungsstrukturen genutzt werden. Wenn bereits in der Planungsphase eine breite Informationsgrundlage verfügbar ist, besteht die Möglichkeit zur frühzeitigen Entscheidung, für ausgewählte geeignete Komponenten auf kostenintensive Lagerhaltung grundsätzlich zu verzichten und jeden späteren

Ersatzteilbedarf durch Auslösung eines additiven Fertigungsprozesses im Obsoleszenzfall zu decken.

### Modellierung einer dezentralen Versorgungsstruktur

Ausgehend von der sich durch die Digitalisierung verändernden Rolle der LDL wurden fünf Szenarien entwickelt, die die Rolle der Logistic-Service-Provider (LSP) beschreiben, um die zukünftige Marktposition der LDL zu ermitteln. Für jede Rolle werden unterschiedliche Anforderungen gestellt, und es ist eine andere Wissensbasis erforderlich. Die Identifizierung der optimalen Rolle eines LSPs hängt also von seinen individuellen Charakteristika ab. Weiterer Forschungsbedarf besteht zudem in den Bereichen *Technologie* und *Eigentumsrechten* sowie *Geschäftsmodelle*. Was die Technologie betrifft, so ist es unerlässlich, die Prozesszeiten von AM zu verkürzen, damit eine On-Demand-Fertigung realisiert werden kann. Was die Eigentumsrechte betrifft, so müssen die Eigentumsrechte an den CAD-Dateien noch festgelegt werden. Die digitalen Schnittstellen zwischen Original-Equipment-Manufacturer (OEM), digitalem Distributor und AM-Dienstleister müssen genau bestimmt werden. Darüber hinaus müssen die in Kapitel F entwickelten Geschäftsmodelle in die Softwarelösung implementiert werden.

### Softwarelösung

Die im Rahmen des Forschungsprojekts geschaffene Online-Plattform bietet aufgrund der modularen Umsetzungsweise großes Potenzial für zukünftige Erweiterungen. Der derzeitige Funktionsumfang könnte zukünftig beispielsweise um die folgenden Aspekte ergänzt werden:

Zusätzlich zur Möglichkeit der manuellen Erfassung von Bauteilinformationen könnte eine Analysefunktion für bestehende CAD-Bauteilmodelle implementiert werden. Dies hätte den Vorteil, dass ein großer Anteil des Erfassungsaufwands für den Bauteilabnehmer entfallen würde. Darüber hinaus ermöglicht eine solche Analyse eine genauere Bewertung der Bauteileigenschaften, durch die beispielsweise eine automatisierte Preisberechnung für die Herstellung auf Basis des tatsächlichen Bauteilvolumens ermöglicht werden würde. Eine wichtige Rolle für eine hohe Akzeptanz der Plattform spielen darüber hinaus Schnittstellen zu ERP-Systemen. Damit würde eine Nutzung der Bewertungs- und Matching-Funktionen der Softwarelösung mit den gewohnten Systemen in Unternehmen möglich und somit die Gefahr der Entstehung einer Insellösung, bei der der Anwender Daten manuell zwischen verschiedenen Systemen übertragen muss, minimiert. Durch die Implementierung umfassender Schnittstellen würde außerdem auch eine Berücksichtigung der Kapazitätsauslastung der verschiedenen Produzenten möglich. Somit könnten

Aufträge bevorzugt an Produzenten vermittelt werden, deren Auftragslage eine besonders schnelle Herstellung eines Ersatzteils zulässt. Dieses Szenario könnte bis hin zur Kommunikation der Plattform mit der Produktionsanlage selbst erweitert werden. Damit könnte eine sichere Übertragung der CAD-Bauteildaten zur Herstellung gewährleistet werden, ohne dass der Produzent selbst einen Zugriff auf die digitalen Bauteilinformationen hätte. Durch diese Maßnahme könnte der Schutz des geistigen Eigentums an den CAD-Modellen noch wirksamer gewährleistet und ein entscheidendes Differenzierungsmerkmal gegenüber zukünftigen Wettbewerbern geschaffen werden.

### **Geschäftsmodelle**

Die in Kapitel F entwickelten tragfähigen Geschäftsmodelle wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern konzeptioniert und im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Praktikabilität geprüft. Die implementierte Softwarelösung umfasst zum aktuellen Zeitpunkt jedoch noch kein implementiertes Geschäftsmodell für den Logistikanbieter in der Rolle des Plattformbetreibers. Hierfür sind verschiedene Ansätze, beispielsweise monatliche Gebühren für den Zugang zur Plattform, eine fixe Gebühr für jeden Bewertungs- und Vermittlungsvorgang oder ein prozentualer Anteil der Herstellungskosten des Bauteils als Nutzungsbeitrag denkbar. Die Implementierung einer solchen Monetarisierungsmöglichkeit erscheint dabei für den nachhaltigen Betrieb der Plattform essenziell.



## I LITERATURVERZEICHNIS

3D HUBS (Hrsg.): Resolve uploaded part errors. Quick guide to resolving uploaded part errors. 2019. <https://help.3dhubs.com/help-center/ordering-custom-parts/1-uploading-parts/resolve-uploaded-part-errors> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

ACHELE, C.; SCHÖNBERGER, M.: App4U. Mehrwerte durch Apps im B2B und B2C. Springer, Wiesbaden 2014.

ARNOLD, D.; ISERMANN, H.; KUHN, A.; TEMPELMEIER, H.; FURMANS, K.: Handbuch Logistik. 3., neu bearb. Auflage. Springer, Berlin [u. a.] 2008.

BARKAWI, K.; BAADER, A.; MONTANUS, S.: Erfolgreich mit After Sales Services. Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik. Springer, Berlin [u. a.] 2006.

BARZ, A.; BUER, T.; HAASIS, H.-D.: A Study on the Effects of Additive Manufacturing on the Structure of Supply Networks. In: IFAC-PapersOnLine 49 (2016) 2, S. 72 – 77.

BAUMANN, F.; EICHHOF, J.; ROLLER, D.: Collaborative Cloud Printing Service. 13th International Conference. Sydney, Australien 2016. Cooperative Design, Visualization, and Engineering; Bd. 9929. Hrsg.: Yuhua Luo. Springer, Cham [u. a.] 2016, S. 77 – 85.

BIEDERMANN, H.: Ersatzteilmanagement. Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen. 2., erw. u. aktualis. Auflage. Springer, Berlin [u. a.] 2008.

BIEGER, T.: Innovative Geschäftsmodelle. Springer, Berlin [u. a.] 2011.

BMW (Hrsg.): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation. Berlin, April 2015. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3) (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

BRAUN, M.: Nicht-funktionale Anforderungen. Juristisches IT-Projektmanagement. Lehrstuhl für Programmierung und Softwaretechnik der Ludwig-Maximilians-Universität München, München, 12.01.2016. <https://www.pst.iflmu.de/Lehre/wise-15-16/jur-pm/braun-ausarbeitung.pdf> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

BUCHERER, E.: Business model innovation – guidelines for a structured approach. Shaker, Aachen 2010. – Zugl.: St. Gallen, Univ., Diss., 2010.

BUEFY (Hrsg.): Documentation. UI Components. <https://buefy.org/documentation/> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

BÜHLER, P.; SCHLAICH, P.; SINNER, D.: Webtechnologien. JavaScript – PHP – Datenbank. Springer, Berlin [u. a.] 2018.

BUKHOLT, N.; WIMMER, L.; MYERBERG, J.; HEIDEN, P.: 3D Printing Trends Q1 2019. Industry highlights and market forecasts Including a special on 3D printing in Automotive. Hrsg.: A. Bourmias-Varotsis; F. Schöffner. März 2019. [https://downloads.3dhubs.com/3D\\_Printing\\_Trends\\_Q1\\_2019.pdf](https://downloads.3dhubs.com/3D_Printing_Trends_Q1_2019.pdf) (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

- HEISTERMANN, F.; TEN HOMPEL, M.; MALLÉE, T.: [Position paper] Digitalisation in Logistics. Answers to questions that concern companies. Hrsg.: Bundesvereinigung Logistik e. V. Bremen, 2017. <https://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=35437&name=BVL17+Position+Paper+Digitalisation+in+Logistics.pdf> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- BURNUS, H.: Datenbankentwicklung in IT-Berufen. Eine praktisch orientierte Einführung mit MS Access und MySQL. Vieweg, Wiesbaden 2008.
- CUELOGIC TECHNOLOGIES (Hrsg.): Top 3 Best JavaScript Frameworks for 2019. medium.com, 2018. <https://medium.com/cuelogic-technologies/top-3-best-javascript-frameworks-for-2019-3e6d21eff3do> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- DEMANT, C.: Software Due Diligence. Softwareentwicklung als Asset bewertet. Springer Gabler, Berlin [u. a.] 2018.
- DOMBROWSKI, U.; WINNEFELD, M.: Trends und Lösungsansatz „Ganzheitliche Produktionssysteme“ im After Sales Service. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107 (2012) 5, S. 355 – 359.
- EURICH, M.; WEIBLEN, T.; BREITENMOSER, P.; BOUTELLIER, R.: A `Network Thinking` approach to business model design. In: Proceedings of ISPIIM 2013. The XXIV ISPIIM Conference - Innovation in Global Markets, Helsinki, Finland, June 16-19, 2013. ISPIIM, Helsinki 2013, 13 S.
- FINK, A.; SCHLAKE, O.; SIEBE, A.: Erfolg durch Szenario-Management. Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau. 2. Auflage. Campus, Frankfurt am Main 2002.
- FINNIGAN, L.: 6 Reasons to use Vue.js. Screenmedia. 15.04.2018. <https://dev.to/lynnnewritescode/6-reasons-to-use-vuejs-1p6c> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- FORZI, T.; LAING, P.; ALBALOOSHI, F.: Virtual education. Cases in learning & teaching technologies. IGI Global, Hershey (PA) 2003.
- FOURCAN, K. M.; UTPAL, K. D.: Usability Guidelines for Usable User Interface. International Journal of Research in Engineering and Technology 03 (2014) 09, S. 79–82.
- GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CSIK, M.: Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Hanser, München [u. a.] 2017.
- GHADGE, A.; KARANTONI, G.; CHAUDHURI, A.; SRINIVASAN, A.: Impact of additive manufacturing on aircraft supply chain performance. In: Journal of Manufacturing Technology Management 29 (2018) 5, S. 846 – 865.
- GROTE, S.; GOYK, R. (Hrsg.): Führungsinstrumente aus dem Silicon Valley. Konzepte und Kompetenzen. Springer Gabler, Berlin 2018.
- HUTH, M.; GOELE, H.: Potenzial der Ersatzteillogistik von produzierenden Unternehmen in der Region Berlin/Brandenburg. Discussion Papers in Business and Economics; Nr. 7. Fachbereich Wirtschaft der Hochschule Fulda, Fulda, August 2013. [https://fuldok.hs-fulda.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/236/file/Ersatzteillogistik\\_Berlin\\_Brandenburg\\_Discussion\\_Paper\\_No\\_7\\_1.pdf](https://fuldok.hs-fulda.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/236/file/Ersatzteillogistik_Berlin_Brandenburg_Discussion_Paper_No_7_1.pdf) (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- JABLONSKI, S.; MEILER, C.: Web-Content-Managementsysteme. In: Informatik-Spektrum 25 (2002) 2, S. 101 – 119.

JANNIDIS, F.; KOHLE, H.; REHBEIN, M.: Digital Humanities. Eine Einführung. J.B. Metzler, Stuttgart 2017.

JOHNSON, M. W.: Reinvent Your Business Model. How to Seize the White Space for Transformative Growth. Harvard Business Press, Boston (MA) 2018.

KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J.: Additive manufacturing in the spare parts supply chain. Computers in Industry 65 (2014) 1, S. 50 – 63.

KÖSTER, O.: Systematik zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe; Bd. 326. Heinz-Nixdorf-Institut, Paderborn 2014. (.)

KUNKEL, M.: AM@ Siemens Mobility Division. Ersatzteile, Qualitätssicherung, Herausforderungen. Foliensatz zum Konferenzvortrag im Rahmen der 3D Valley Conference am 15.09.2016, 2016.

LINDER, J.; CANTRELL, S.: Changing Business Models: Surveying the Landscape. Hrsg.: Accenture. 24.05.2000. [http://www.businessmodels.eu/images/banners/Articles/Linder\\_Cantrell.pdf](http://www.businessmodels.eu/images/banners/Articles/Linder_Cantrell.pdf) (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

LIU, P.; HUANG, S. H.; MOKASDAR, A.; ZHOU, H.; HOU, L.: The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis. In: Production Planning & Control 25 (2014) 13-14, S. 1169 – 1181.

MAHNEL, M.: Global Spare Parts Management 2010. Bringen Sie Ihre Ersatzteilversorgung weltweit auf Erfolgskurs; Chancen und Herausforderungen; globale Trends und Handlungsbedarfe; in 12 Schritten zum Ersatzteillistik-Champion; Best-Practice-Beispiele. IMPULS Management Consulting, München 2008.

HATRUP-SILBERBERG, M. (Hrsg.): [Pressemitteilung] Aftersales-Geschäft in der Autobranche: 100 Milliarden Euro Gewinn vor Neuverteilung. McKinsey online. 27.08.2018. <https://www.mckinsey.de/news/presse/2018-08-27-aftermarket-studie> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

MIETZNER, D.: Entwicklung neuer Geschäftsmodelle mit Szenarien. In: 3. Potsdamer Gründertag. Habe das nur als unvollständige Quellenangabe gefunden, aber nirgendwo den Text! Somit auch das nicht zitierfähig! Bitte aktiven Link zum Volltext schicken oder Quelle sinnvoll austauschen (ggf. natürlich mit Textanpassung) oder mir den Volltext für die Bib übergeben!!

MOZILLA CORPORATION (Hrsg.): HTML: HyperText Markup Language. MDN Web Docs. Mozilla online, 10.09.2019. <https://developer.mozilla.org/de/docs/Web/HTML> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

NEUMANN, L.; KRIPPENDORF, W.: Branchenanalyse Bahnindustrie. Industrielle und betriebliche Herausforderungen und Entwicklungskorridore. Study der Hans-Böckler-Stiftung; Nr. 331. Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf 2016. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/146408/1/867975040.pdf> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)

OHLSEN, J.; HERZOG, F.; RASO, S.; EMMELMANN, C.: Function Integrated, Bionic Optimised Vehicle Lightweight Structure in Flexible Production. ATZ Worldwide 117 (2015) 10, S. 34 – 39.

- OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: Business model generation. Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer. Campus, Frankfurt am Main [u. a.] 2011.
- PAUSE, D.; MAREK, S.: Supply Chain Scenarios for Logistics Service Providers in the Context of Additive Spare Parts Manufacturing. In: Advances in production management systems. Hrsg.: F. Ameri; K. E. Stecke; G. v. Cieminski. Towards smart production management systems; IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2019 Austin (TX), September 1-5, 2019 proceedings, Part II, Bd. 567. Springer, Cham [u. a.] 2019, S. 51 – 58.
- PAUSE, D.; MAREK, S., HÄFKER, P.; SLABON, D.: Entwicklung eines Full-Supply-Service in der Ersatzteillistik. Innovative logistische Mehrwertdienstleistungen mittels additiver Fertigung. In: UdZForschung 20 (2019) 2, S. 33 – 35. [https://data.fir.de/download/udz/udzforschung2\\_2019.pdf](https://data.fir.de/download/udz/udzforschung2_2019.pdf) (Link zuletzt geprüft: 18.08.2020)
- PRAMATARIS, C.; DIMITRIS, A.; PAPAKYRI, K.: Personalized Interactive TV Advertising: The iMEDIA Business Model. Electronic Markets 11 (2001) 1, S. 17 – 25.
- RAYNA, T.; STRIUKOVA, L.; DARLINGTON, J.: Co-Creation and User Innovation: The Role of Online 3D Printing Platforms. Journal of Engineering and Technology Management (2015)37, S. 90 – 102.
- SCHUH, G.; STICH, V.; Wienholdt, H.: Ersatzteillistik. In: Logistikmanagement. Reihe Handbuch Produktion und Management; Hrsg.: G. Schuh; V. Stich. Bd. 6. Springer, Berlin [u. a.] 2013.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 2018. Deutschland und Internationales. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2019, S. xx. Bitte hier genaue Seite angeben oder Link oder mir Infos geben (haben das Jahrbuch im Archiv)
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 2019: Deutschland. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2020, S. xx. Bitte hier genaue Seite angeben oder Link oder mir Infos geben (haben das Jahrbuch im Archiv)
- STOLL, P. P.: E-Procurement. Grundlagen, Standards und Situation am Markt. Vieweg, Wiesbaden 2007. – Zugl.: Fulda, Hochsch., Dipl-Arb., 2006.
- ÜBEL, M. v.: 2019-Bestenliste: Online-3D-Druck-Service-Dienstleister. All3DP.com, 06.08.2019. <https://all3dp.com/de/1/online-3d-druck-service-dienstleister-3d-drucken-lassen/> (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- UNTERSTEIN, M.; MATTHIESSEN, G.: Relationale Datenbanken und SQL in Theorie und Praxis. Springer, Berlin [u. a.] 2012.
- W3TECHS (Hrsg.): Server-side programming languages market position report. 22.02.2019. [https://w3techs.com/technologies/market/programming\\_language/10](https://w3techs.com/technologies/market/programming_language/10) (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- WHITE, S. A.: Introduction to BPMN. Unter Mitarbeit von IBM Corporation. BP Trends, Juli 2004. [http://yoann.nogues.free.fr/IMG/pdf/07-04\\_WP\\_Intro\\_to\\_BPMN\\_-\\_White-2.pdf](http://yoann.nogues.free.fr/IMG/pdf/07-04_WP_Intro_to_BPMN_-_White-2.pdf) (Link zuletzt geprüft: 18.09.2020)
- WIENHOLDT, H.: Dynamische Konfiguration der Ersatzteillistik im Maschinen- und Anlagenbau. Schriftenreihe Rationalisierung; Bd. 108. RHRsg.: G. Schuh. Apprimus, Aachen 2011. – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2011.

WIRTZ, B. W.: Business Model Management. Design – Instrumente – Erfolgsfaktoren von Geschäftsmodellen. Gabler, Wiesbaden 2010.

WOHLERS ASSOCIATES (Hrsg.): Wohlers Report. 3d printing and additive manufacturing state of the industry. Wohlers Associates, Fort Collins (CO) 2018.

Im Forschungsprojekt ‚3Dsupply – Intelligentes Ersatzteilmanagement unter Berücksichtigung additiver On-Demand-Fertigung‘ wurde von einem Projektkonsortium aus fünf Partnern aus Industrie und Forschung ein integriertes Dienstleistungskonzept für Logistikdienstleister entwickelt.

Bei der zu erwartenden fortschreitenden Marktdurchdringung der additiven Fertigungstechnologien müssen mögliche Konsequenzen für die Logistikbranche frühzeitig erkannt und chancenorientiert genutzt werden. Die Verlagerung der Produktion hin zum Bedarfsort verringert Transportdistanzen und reduziert Lagervorgänge. Dies senkt zwar auch den Transportbedarf, setzt allerdings die korrekte Informationsweitergabe voraus. Im Rahmen des Forschungsprojekts ‚3Dsupply‘ wurde eine Referenznetzwerkstruktur zur dezentralen Ersatzteilversorgung unter Berücksichtigung additiver Fertigungsverfahren konzipiert. Darauf aufbauend wurde ein Softwaretool zur standardisierten Aufnahme von Fertigungsanforderungen und zur Auswahl potenzieller Produzenten erarbeitet. Das neue Dienstleistungskonzept für den Logistikdienstleister basiert auf einem tragfähigen Geschäftsmodell für Kunden, Dienstleister und Produzenten.

Das Projekt wurde vom *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)* unter dem Förderkennzeichen 02K16C162 gefördert. Während der Projektlaufzeit von September 2017 bis Dezember 2020 wurde das Projekt vom *Projekträger Karlsruhe* betreut.

FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Campus-Boulevard 55  
52074 Aachen

Telefon: +49 241 47705-0  
E-Mail: [info@fir.rwth-aachen.de](mailto:info@fir.rwth-aachen.de)  
Internet: [www.fir.rwth-aachen.de](http://www.fir.rwth-aachen.de)