

# SCHRIFTENREIHE 3D@KMU

Herausgeber:

Prof. Dr. Heiko Wenzel-Schinzer

ARBEITSBERICHT 14

EIN VERFAHREN ZUR TEILEAUSWAHL FÜR DEN 3D-  
DRUCK

Alexandra Fiedler

Der vorliegende Bericht erläutert das Vorgehen bei der Identifikation 3D-Druck-geeigneter Teile. Zudem wird eine Checkliste, die der Entscheidungsunterstützung dient, vorgestellt.

Merseburg, April 2018



## Inhalt

Einleitung.....	3
Wirtschaftliche Aspekte .....	4
Technologieeinführung .....	5
Identifikation von Teilekandidaten .....	6
Die Checkliste.....	7
Anwendungsbeispiel.....	16
Fazit.....	18
Literaturverzeichnis .....	19

## EINLEITUNG

3D-Druck wird eingesetzt, um komplexe Teile in der Regel in kleinen Losgrößen zu produzieren. In den vergangenen 20 Jahren wurden diese Technologien verwendet, um Teile für die Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, biomedizinische und andere Bereiche (z. B. Design und Architektur) herzustellen. In jüngster Zeit gewinnt der 3D-Druck mit der Entwicklung neuer Produktionstechnologien, die ein breiteres Spektrum an Materialien umfassen, an Bedeutung. Diese neuen Technologien ermöglichen eine erweiterte Anwendung des 3D-Drucks in der Industrie, jenseits der traditionellen Verwendung im Rapid Prototyping. Daher ist das Interesse der Unternehmen an der Adaption der 3D-Druck-Technologien gewachsen. Infolgedessen hat sich die Anzahl der additiv gefertigten Teile erhöht.

Zahlreiche Unternehmen setzen 3D-Druck bereits erfolgreich ein und denken „laut“ über weitere Anwendungsmöglichkeiten beispielsweise bei der Ersatzteilproduktion nach. Mercedes Benz hat Mitte 2016 angekündigt, die Ersatzteilproduktion für die LKW-Sparte mittels 3D-Druck zu unterstützen<sup>1</sup>, IKEA plant den 3D-Druck von Ersatzteilen für Möbel älterer Serien<sup>2</sup> und die Deutsche Bahn möchte Ersatzteile für Züge und Lokomotiven drucken<sup>3</sup>. Boeing hat in diesem Zusammenhang eine Datenbank für 3D-Dateien entwickelt und 2015 ein Patent angemeldet, Ziel ist es von jedem Ort Zugriff auf die Daten zu haben und Ersatzteile am Ort des Verbrauchs zu fertigen<sup>4</sup>. In Dubai hat die Road and Transport Authority (RTA) den 3D-Druck von Ersatzteilen für sein Metro-Netzwerk bereits angefangen umzusetzen<sup>5</sup>. Andere Unternehmen bündeln ihre Kräfte und schließen sich zu Netzwerken zusammen, so gründete sich 2015 in den Niederlanden ein Marine-Konsortium aus 27 Unternehmen zum 3D-Druck von Ersatzteilen für Schiffe<sup>6</sup> und in Deutschland schlossen sich im Jahr 2017 zwölf Partner in dem Netzwerk „3D-Druck von Ersatzteilen“ zusammen, welches u. a. die Material- und Verfahrensentwicklung fördern soll<sup>7</sup>.

---

<sup>1</sup> vgl. (Krämer, 2016)

<sup>2</sup> vgl. (Hullinger, 2016)

<sup>3</sup> vgl. (DB, 2016)

<sup>4</sup> vgl. (US Patent & Trademark Office, 2015)

<sup>5</sup> vgl. (Government of Dubai, 2016)

<sup>6</sup> vgl. (Fonseca, 2015)

<sup>7</sup> vgl. (Netzwerk 3D-Druck von Ersatzteilen, 2017)

Fertiger stehen vor der Frage, welche Teile aus dem bisweilen sehr umfangreichen Teileportfolio der einzelnen Unternehmen eignen sich für 3D-Druck. Bisher hat die Forschung wenig dazu beigetragen, Unternehmen bei der Teileauswahl zu unterstützen. Dieses Papier zielt daher darauf ab, eine Methodik zu präsentieren, um Endbenutzern zu helfen, geeignete Teilekandidaten für die Verwendung der AM-Technologien zu finden.

## WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Für die Einschätzung eines ökonomischen Einsatzes der 3D-Druck-Technologie müssen viele Aspekte berücksichtigt werden. Im Vergleich zur herkömmlichen Fertigung bietet 3D-Druck eine enorme Gestaltungsfreiheit, während es keinen direkten Zusammenhang zwischen Komplexität und Herstellungskosten gibt<sup>8</sup>. Daher ist diese Technologie vor allem für Branchen interessant, die von einem mehr funktionsorientierten Design profitieren würden, als von einem Design, welches auf der Grundlage der Beschränkungen eines konventionellen Herstellungsverfahrens entsteht. Durch 3D-Druck wird es möglich, die Komplexität von Baugruppen durch Kombination mehrerer Teile und / oder Funktionalitäten auf nur ein Teil zu reduzieren<sup>9</sup>. Dies ist nur eine Möglichkeit, in der Produktionsphase Kosten zu sparen, obwohl der Produktionsprozess selbst teurer sein kann, stark abhängig vom jeweiligen Teil. Darüber hinaus bietet 3D-Druck weitere Potenziale bei der Kosteneinsparung, da es keine Notwendigkeit für Werkzeugbau und Lagerung von Produktionswerkzeugen gibt. So kann die Herstellung von direkt gebrauchsfertigen Teilen die Time-to-Market verkürzen, da Änderungen kurzfristig angewendet werden können. Auf der anderen Seite bringt 3D-Druck neue Einschränkungen mit sich, so dass bestimmte Designregeln und 3D-Druck-spezifische Aspekte bereits in der Designphase berücksichtigt werden müssen. Daher muss die Erfüllung der Produkthanforderungen, wie Spannungen und Belastungen, Oberflächengüte, Maßgenauigkeit etc. in einem sehr frühen Stadium der Produktentwicklung berücksichtigt werden.<sup>10</sup> Um all diese Aspekte zu berücksichtigen, ist Fachwissen nötig, und es ist entscheidend, nicht nur die Produktionskosten selbst zu berücksichtigen. Je nach Branche lohnt sich ein detaillierter Blick auf den gesamten Lebenszyklus eines Produktes, wie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrtindustrie<sup>11</sup>.

---

<sup>8</sup> vgl. (Zäh, 2013, S. 141 ff.)

<sup>9</sup> vgl. (Gebhardt, 2016, S. 464)

<sup>10</sup> vgl. (Gebhardt, 2016, S. 461 ff.)

<sup>11</sup> vgl. (EADS IW & EOS, 2013)

Hier ist ein belastungsgerechtes und optimiertes Design die Basis für den Leichtbau, wodurch über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg Kosten eingespart werden, indem der Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen durch das geringere Gewicht reduziert wird.<sup>12</sup> Daher kann der Einsatz von 3D-Druck eine ökonomische Entscheidung sein, auch wenn die Produktionskosten selbst aufgrund der Produktionsgeschwindigkeit hoch erscheinen. Da der aktuelle Stand der Technik immer noch vielen Einschränkungen unterliegt, ist es nicht sinnvoll, alle erdenklichen Teile mittels 3D-Druck herzustellen. Die Baukammern der Fertigungsmaschinen sind im Moment noch begrenzt, ebenso wie die zu erreichenden Oberflächengüten und Maßgenauigkeiten<sup>13</sup>. Zumindest muss der wirtschaftliche Aufwand für die Nachbearbeitung zur Erfüllung der Anforderungen berücksichtigt werden. In den meisten Fällen reicht es nicht aus, ein konventionell hergestelltes Teil zu betrachten und darüber nachzudenken, es unverändert additiv zu fertigen. Es ist sinnvoller, alle Parameter und Funktionalitäten eines Teils zu berücksichtigen und über eine Neugestaltung nachzudenken. Und darüber wie ein Mehrwert erreicht werden kann, unter Berücksichtigung der Potenziale von 3D-Druck. Um also 3D-Druck mit einem ökonomischen Nutzen gezielt einzusetzen, ist eine Methodik für die Auswahl der vielversprechendsten Teilkandidaten notwendig.

## TECHNOLOGIEEINFÜHRUNG

Die Einführung einer neuen Technologie in ein Unternehmen ist nicht immer einfach. 3D-Druck kann mehr als Lernprozess als eine "Plug and Play"-Lösung gesehen werden<sup>14</sup>. Man kann nicht erwarten, von Anfang an fertig zu bauen. Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich Freiformflächen, Hinterschnitte und innen liegende Hohlräume besonders gut realisieren. Daher ist es wichtig, dass Produktentwickler und Konstrukteure die speziellen Eigenschaften der additiven Fertigungsverfahren kennen, um deren Potenzial voll auszuschöpfen.<sup>15</sup> Bei der Entscheidung für 3D-Druck sollte man diese Aspekte des Trainings beachten und erst Erfahrungen sammeln, bevor man mit der Produktion beginnt. Neben den Schwierigkeiten erkennen Unternehmen auch die Vorteile, die 3D-Druck bietet. Aber viele von ihnen sind unsicher darüber, wann und in welchem Umfang sie sich dieser neuen Technologie nähern sollten, auch wenn

---

<sup>12</sup> vgl. (Schmidt, 2016, S. 214 ff.)

<sup>13</sup> vgl. (Gebhardt, 2016, S. 332 ff.)

<sup>14</sup> vgl. (Baldinger, 2016, S. 46)

<sup>15</sup> vgl. (Bauer & et al., 2016, S. 31 f.)

zum Beispiel Reifegradmodelle<sup>16</sup> hier unterstützen können. Deshalb nähern sich viele Unternehmen dieser Technologie auf Basis von Musterteilen aus ihrem aktuellen Produktportfolio. Die wichtigste Frage bei der Etablierung einer neuen Fertigungstechnik ist, ob es wirtschaftliche Vorteile hat. Um dies zu gewährleisten, muss der Wertstrom und die Supply Chain von 3D-Druck verstanden werden<sup>17</sup>.

## IDENTIFIKATION VON TEILEKANDIDATEN

Heutzutage sind viele Fertigungsunternehmen mit 3D-Druck nicht vertraut, vor allem hinsichtlich ihrer Vorteile und Einschränkungen<sup>18</sup>. In den vergangenen Jahren hat die Technologie immer mehr Medienaufmerksamkeit erlebt und viele Unternehmen sind sich der Möglichkeiten bewusst, die diese Technologie für ihr eigenes Unternehmen beinhalten kann<sup>19</sup>. Man kann sehen, dass die Auswahl geeigneter Teile entscheidend für die erfolgreiche und wirtschaftliche Nutzung der additiven Fertigung ist.

Daher wurde auf der Basis von (Lindemann, Reiher, Jahnke, & Koch, 2015) ein Vorgehen für die Teilselektion und Bedarfserfassung entwickelt, welches den Aufwand für den gesamten Prozess minimieren und eine erfolgreiche Neugestaltung sicherstellen soll. Es zielt darauf ab, unerfahrenen Benutzern zu helfen, machbare Teilekandidaten für den 3D-Druck zu identifizieren. Die Bewertung geeigneter Teilkandidaten kann sehr zeitaufwendig sein, da in vielen Fällen weitere, zum Teil im Unternehmen verstreute Informationen zu Teilen benötigt werden. Die Methodik von (Lindemann, Reiher, Jahnke, & Koch, 2015) gliedert sich in drei Hauptphasen: die Informationsphase, die Bewertungsphase und die Entscheidungsphase. Dieses Vorgehen erschien auch für das hier im Anschluss diskutierte Anwendungsbeispiel zielführend und wurde im Folgenden adaptiert. Die Ausgestaltung der einzelnen Phasen wurde an die Anforderungen mittelständischer Unternehmen angepasst.

Im Folgenden werden diese drei Phasen beschrieben:

1. **Informationsphase:** Die 3D-Druck-Technologie wird den Interessenten und Entscheidungsträgern vorgestellt. Die Vorteile der Technik werden mit Hilfe von

---

<sup>16</sup> vgl. (Wenzel-Schinzer & Fiedler, 2018)

<sup>17</sup> vgl. (Nyman & Sarlin, 2014)

<sup>18</sup> vgl. (Fiedler, 2016b)

<sup>19</sup> vgl. (Fiedler & Taslitsky, 2017)

Produktbeispielen gezeigt und aktuelle technische Anwendungsspektren werden erläutert. Insbesondere werden technische Einschränkungen im Detail geklärt. Die Diskussion über grundlegende Gestaltungsregeln für 3D-Druck<sup>20</sup>, ermöglicht es Produktentwicklern und Konstrukteuren die richtigen Teile für den 3D-Druck auszuwählen. Am Ende dieser Phase muss der Endbenutzer in der Lage sein, eine große Anzahl von Musterteilen ohne weitere Hilfe von 3D-Druck-Experten auszuwählen und in die Checkliste einzugeben. Das Hauptziel der Informationsphase ist es, den Teilnehmern ein grundlegendes Verständnis der Technik zu vermitteln. Dies ist notwendig, weil die Zielgruppe des Workshops Mitarbeiter und Entscheider ohne bzw. mit geringen 3D-Druck-Kenntnissen sind. Darüber hinaus sollte die Informationsphase den Teilnehmern die Möglichkeit geben, das interne Teilescreening zu starten.

2. **Bewertungsphase:** In dieser Phase wird die Anzahl der gesammelten Teile eingeeengt, um den Aufwand für die Erhebung von Informationen zu reduzieren. Dieses Screening wird durch die Anwendung der entwickelten Checkliste abgeschlossen. Die Teile werden durch Einschätzungen von 3D-Druck-Experten und Wissensträgern bzgl. der betreffenden Teile priorisiert. Das Ergebnis der Bewertung bietet eine erste Auswahl geeigneter Teile für 3D-Druck.
3. **Entscheidungsphase:** Die Entscheidungsphase zielt darauf ab, die Teile zu finden, die das größte Potential für ein spezifisches, 3D-Druck-gerechtes Redesign darstellen. Hierzu müssen zunächst Daten der Teileanforderungen gesammelt und dokumentiert werden. Die detaillierteren Informationen ermöglichen es, auch auf Basis der Checkliste, eine gut begründete Auswahl des Teils zu treffen, welches vielversprechend bezüglich einer 3D-Druck-gerechten Neugestaltung ist. Diese Phase beinhaltet auch ökonomische Aspekte der Teilefertigung.

## DIE CHECKLISTE

Die Checkliste ist einer der Schlüsselaspekte des Teilauswahlprozesses. Der Zweck der Checkliste ist eine Überprüfung von Teilen hinsichtlich ihrer Eignung für den 3D-Druck. Im oberen Teil der Liste werden die einzelnen zu betrachtenden Teile beschrieben. Typische Gebrauchsinformationen sind eine kurze Beschreibung der Funktion,

---

<sup>20</sup> Konstruktionsregeln für Additive Fertigungsverfahren finden sich u.a. in (Zimmer & Adam, 2013 ) & VDI-Richtlinie: VDI 3405 Blatt 3

typische Produktionsmengen, Produktionskosten, Abmessungen, die Masse des Teils sowie das aktuell verwendete Material. Die Beschreibung wird mit einem Bild des Teilkandidaten abgeschlossen. Abbildung 1 zeigt das hier beispielhaft betrachtete Bauteil.

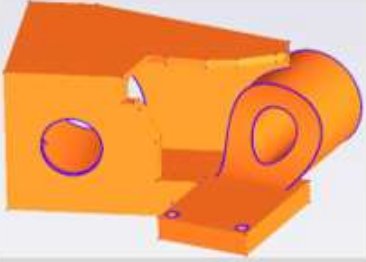
	Bauteilname	Halterung
	typische Losgröße konventionell	5
	benötigte Losgröße 3D-Druck	1
	Abmaße [mm]	52,5 x 95 x 30
	Gewicht [kg]	0,15
	Produktionskosten [€]	250,00
	Material	Kunststoff

Abbildung 1: Kopfteil der Checkliste mit Beispiel 1

All dies sind grundlegende Informationen, die für die Teilbewertung und eine grobe ökonomische Analyse später verwendet werden können. Der erste Abschnitt der Checkliste soll zu Beginn der Bewertungsphase ausgefüllt werden.

Die Checkliste ist in verschiedene Abschnitte unterteilt, die mehrere Kriterien beinhalten. Diese Kriterien können ähnlich wie bei einer Nutzenanalyse bewertet werden. Durch eine Änderung der Bewertungskategorien oder durch eine Anpassung der Kriterien kann die Checkliste an verschiedene Anwendungen angepasst werden. An den Kopfteil schließt sich ein Abschnitt mit KO-Kriterien an (siehe Abbildung 2).

Teileauswahl		
1) KO-Kriterien	ja	nein
digitale 3D-Daten sind verfügbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauteil kleiner als 250 x 250 x 300 mm (B/L/H)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<b>ungeeignet</b>

Abbildung 2: Erster Abschnitt der Checkliste

Voraussetzung für den 3D-Druck ist ein digitales Modell. Sind diese Daten nicht vorhanden, ist 3D-Druck zunächst nicht anwendbar. Prinzipiell ist es natürlich möglich, mittels Reverse Engineering ein digitales Modell aus einem physischen Objekt abzuleiten. Das Kriterium wird jedoch zum KO-Kriterium, wenn man zu der Einschätzung gelangt, dass dies nicht mehr ökonomisch sinnvoll wäre.

Die Größenbeschränkungen resultieren aus der Tatsache, dass die Baukammergröße von 3D-Druck-Anlagen begrenzt ist. So sind die potentiell zur Verfügung stehenden



Anlagen mit ihren technischen Spezifikationen im Haus oder bei den Dienstleistern bei der Teileauswahl zu berücksichtigen. Dieses Kriterium muss also an die mögliche Bau- raumgröße der Anlage angepasst werden.

Der zweite Abschnitt der Checkliste beinhaltet Kriterien bezüglich der Bauteilmerkmale (vgl. Abbildung 3).

1) KO-Kriterien		ja	nein
digitale 3D-Daten sind verfügbar		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauteil kleiner als 250 x 250 x 300 mm (B/L/H)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ok</span>	
2) Bauteil		Bewertungsskala	
Bauteilkomplexität	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	3	
Kostenersparnis durch Rohstoffsubstitution		1	
Potentiale durch Gewichtsreduktion		4	
Ist eine 3D-Druck-gerechte Umkonstruktion möglich?	2-Nein; 5-ja	5	
Ist Funktionsintegration möglich?		5	
Wie Anspruchsvoll sind die Anforderungen (Festigkeit, dynamische Belastung, Temperatur)	2-sehr speziell; 5-nicht speziell	5	
		Zwischensumme:	23
Bauteil wirtschaftlich sinnvoll druckbar?		ja	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 3: Zweiter Abschnitt der Checkliste von Beispiel 1 inkl. Zwischenbewertung

Das Kriterium Bauteilkomplexität zielt auf die Komplexität der Herstellung des betrachteten Teils. Handelt es sich um ein hoch komplexes Teil, kann das als Vorteil für den Einsatz von 3D-Druck gesehen werden<sup>21</sup>.

Durch das Kriterium Rohstoffsubstitution werden die Möglichkeiten zur Herstellung des Bauteils mit angepasstem 3D-Druck-Material bewertet, welches die Anforderungen hinsichtlich der erforderlichen Festigkeit / Steifigkeit des Bauteils erfüllt. Zudem wird der Materialverbrauch hinterfragt. 3D-Druck kann erheblich dazu beitragen, Abfall zu reduzieren, da das einzige verschwendete Material das Material der Stützstrukturen ist. Mit einem intelligenten Produktdesign können auch diese reduziert werden.

<sup>21</sup> vgl. (Gebhardt, 2016)

Oft ist ein geringes Gewicht eine wünschenswerte Eigenschaft bei einem Bauteil (zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt). Gewichtsreduktion kann beim 3D-Druck durch gezielten Materialeinsatz und/oder Umkonstruktion erreicht werden. Das Potential des 3D-Drucks kommt dann voll zum Tragen, da Strukturen (zum Beispiel Leichtbaustrukturen) herstellbar sind, die konventionell nicht zu fertigen sind.

Um die Vorteile des 3D-Drucks voll ausschöpfen zu können, ist in der Regel ein 3D-Druck-gerechtes Design notwendig. Lassen die Bedingungen für den Bauteileinsatz keine Änderungen der Konstruktion zu, wirkt sich das nachteilig auf den Einsatz der 3D-Druck-Technologie aus.

Einer der vielen Vorteile der 3D-Druck -Technologie ist die Möglichkeit der funktionalen Integration<sup>22</sup>. Werden Teile zum Beispiel aufgrund von Fräsbeschränkungen an andere angrenzende Teile montiert, so kann mit 3D-Druck die Zusammenführung zu einem Bauteil erreicht werden. Viele Schnittstellen können zu Funktionsintegration oder integriertem Design führen. Dadurch lässt sich nicht nur Material einsparen, sondern auch Montage- und Nachbearbeitungszeiten.

Die Zahl der verfügbaren 3D-Druck-Materialien ist inzwischen groß. Für viele auch anspruchsvolle Anwendungsfälle gibt es Materialien. Diese sind jedoch häufig kostenintensiv und unter Umständen noch nicht in vergleichbarer Weise wie bekannte Materialien geprüft. Je weniger speziell die Anforderungen an das Bauteil sind, desto wirtschaftlicher ist der Einsatz des 3D-Drucks.

Zum Abschluss des Abschnittes wird anhand der vorgenommenen Bewertungen der einzelnen Kriterien eine erste Einschätzung bezüglich der Wirtschaftlichkeit gegeben. Wenn hier kein grünes Licht gegeben wird, sollte entweder von dem Vorhaben das Teil zu drucken abgelassen werden oder detaillierter geklärt werden, welche Gründe dennoch dafürsprechen, das Vorhaben weiter zu verfolgen (z. B. Notwendigkeit zur Gewichtsreduktion, geometrische Anforderungen o. ä.).

Das Gewicht spielt bei dem zu bewertenden Bauteil eine Rolle. Dieses ließe sich durch eine entsprechende 3D-Druck-gerechte Konstruktion mit Funktionsintegration senken.

---

<sup>22</sup> vgl. (Gibson, Rosen, & Stucker, 2010)

Der dritte Abschnitt der Checkliste beinhaltet Kriterien bezüglich der Produktionskosten (vgl. Abbildung 4). Werden kleine Losgrößen benötigt, kann bei der konventionellen Fertigung (zum Beispiel beim Spritzguss) die Herstellung von Formen einen erheblichen Kostenanteil ausmachen. Ebenso verhält es sich bei der Anfertigung von speziellen Werkzeugen. Besteht das Bauteil aus mehreren konventionell gefertigten Einzelkomponenten, kann die Montage viel Zeit in Anspruch nehmen, daraus resultiert ein hoher Lohnkostenanteil. Komplexe Bauteile lassen sich mit herkömmlichen Fertigungsverfahren oft nur in mehreren Produktionsschritten herstellen, was sich ebenfalls erhöhend auf die Kosten auswirkt. Treffen die genannten Punkte in unterschiedlicher Ausprägung zu, so kann 3D-Druck erheblich zur Senkung der Produktionskosten beitragen, was die Anwendung eines solchen Verfahrens wirtschaftlich macht.

3) Produktion		
Rüstkosten		3
Kosten für Werkzeug	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	1
Kosten für Formen		5
Lohnanteil (z.B. viele manuelle Montageschritte- komplexes Bauteil)		3
Kosten des konventionellen Fertigungsverfahrens (viele Produktionsschritte, Energie, Wartung)		3
Zwischensumme:		15
Potential zur Senkung der Produktionskosten? ja <input checked="" type="checkbox"/>		

Abbildung 4: Dritter Abschnitt der Checkliste von Beispiel 1 inkl. Zwischenbewertung

Die Produktionskosten für die Halterung sind aufgrund der geringen Stückzahl hoch, was für die 3D-Druck-Eignung spricht.

Abschnitt vier berücksichtigt Aspekte der Nachfrage und Abschnitt fünf befasst sich mit den Risiken bei der Beschaffung (vgl. Abbildung 5). 3D-Druck ermöglicht eine kundenindividuelle Fertigung, das heißt kleine unterschiedliche Losgrößen (auch Losgröße 1) ohne Zeitverlust hintereinander. Liegt einmal ein digitales Modell vor, so können Änderungen zeitnah an diesem umgesetzt werden. Bei konventioneller Fertigung gibt es häufig eine Mindestabnahmemenge, was dazu führt, dass nicht unmittelbar benötigte Teile gelagert werden müssen. Bei 3D-Druck entfällt diese Notwendigkeit. Insbesondere bei Ersatzteilen, aber auch bei zum Beispiel Produktneueinführungen ist die

Nachfrage schlecht prognostizierbar. Bei manchen Teilen ist die Nachfrage sehr gering, sie müssen aus rechtlichen- und Gewährleistungsgründen dennoch lieferbar sein, auch hier lassen sich durch 3D-Druck Lagerkosten sparen, da die Produktion bei Bedarf erfolgen kann.

4) Nachfrage		
kundenindividueller Anteil am Bauteil	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	2
Lagerkosten		2
Wahrscheinlichkeit für schlechte Prognostizierbarkeit Nachfrage		5
Wahrscheinlichkeit für geringe, diskontinuierliche Nachfrage		5
5) Beschaffung		
Frachtkosten	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	3
Zollkosten für Import		1
Wahrscheinlichkeit für geringe Anzahl bzw. keine Verfügbarkeit von Bezugsquellen		3
Wahrscheinlichkeit für geringe Termintreue des Lieferanten		3
Zwischensumme:		24
Potential On-Demand-Produktion?		ja <input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 5: Vierter und fünfter Abschnitt der Checkliste von Beispiel 1 inkl. Zwischenbewertung

3D-Druck kann vor Ort im eigenen Hause erfolgen oder regional bei einem Dienstleister, die es inzwischen zahlreich gibt. Near-Sourcing führt zu geringeren Fracht- und Zollkosten. Risiken wie Verfügbarkeit von Bezugsquellen und Kapazitäten sowie Schwierigkeiten bei der Termintreue können durch 3D-Druck ebenfalls minimiert werden. Je höher also das Potential für On-Demand-Produktion ist, desto mehr spricht für ein 3D-Druck-Fertigungsverfahren.

Da die betrachtete Halterung Teil einer neuen Produktentwicklung ist, ist die Nachfrage in Höhe und Häufigkeit eher schlecht vorhersagbar. Eine On-Demand-Produktion ist also vorteilhaft.

Ist die Checkliste vollständig ausgefüllt, werden die Bewertungen aus den Abschnitten 2-5 zu einer abschließenden Empfehlung zusammengefasst (vgl. Abbildung 6).

Gesamtpunktzahl	62
3D-Druck-Eignung:	65% 

Abbildung 6: Ergebnis der Bewertungen für Beispiel 1

Im Ergebnis ist die Halterung für prinzipiell für den 3D-Druck geeignet. Im nächsten Schritt sollten alle Teile von der verdichteten Liste aus der Bewertungsphase mit Hilfe der oben beschriebenen Checkliste auf ihre 3D-Druck-Eignung hin überprüft werden. Hier exemplarisch dargestellt an zwei weiteren Beispielen (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8).

Die Überprüfung des zweiten ausgewählten Teils ergab eine nur mäßige Eignung für den 3D-Druck. Potential liegt hier vor allen darin, aus den zwei Komponenten unterschiedlichen Materials ein Kunststoffbauteil zu machen. Die Möglichkeiten zur Produktionskostensenkung sind trotz nötiger Montageschritte beschränkt. Ebenso bieten sich wenig Einsparmöglichkeiten im Bereich der Nachfrage und Beschaffung. Das Bauteil wird in gut prognostizierbaren Stückzahlen regelmäßig benötigt und zum Teil im eigenen Unternehmen gefertigt, so dass das Risiko beschaffungsseitig gering ist.

Bei dem dritten exemplarisch ausgewählten Bauteil wird deutlich, dass 3D-Druck hier keine Alternative zur konventionellen Fertigung darstellt. Es handelt sich um ein einfaches Bauteil, welches in hoher Stückzahl benötigt wird, was sich positiv auf die Produktionskosten auswirkt. Dies ist bereits im zweiten Abschnitt der Checkliste erkennbar und die Bewertung könnte an dieser Stelle abgebrochen werden, zu Demonstrationszwecken wurde die Checkliste dennoch gänzlich durchgearbeitet. Das Teil wird bei bekannter stabiler Nachfrage über langjährige Lieferantenbeziehungen risikoarm, regelmäßig, problemlos beschafft. Die Gesamtbewertung führt folgerichtig zu dem Ergebnis, an der bisherigen Fertigungs- bzw. Beschaffungsmethode nichts zu ändern.


		Bauteilname: <b>Halterung II</b> typische Laggröße konventionell: 500 benötigte Laggröße 3D-Druck: 500 Abmaße [mm]: 43,5 x 30 x 25 Gewicht [kg]: 0,13 Produktionsknoten [I]: 5,00 Material: Kunststoff + Metall
<b>Teileauswahl</b>		
<b>1) KO-Kriterien</b>		
digitale 3D-Daten sind verfügbar	<b>ja</b>	<b>nein</b>
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauteil kleiner als 250 x 250 x 300 mm (B/L/H)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">ok</span>		
<b>2) Bauteil</b>		<b>Bewertungskala</b>
Bauteilkomplexität	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	3
Kartensparnis durch Rohstoffsubstitution		2
Potentiale durch Gewichtreduktion		1
Ist eine 3D-Druck-gerechte Umkonstruktion möglich?		5
Ist Funktionsintegration möglich?		5
Wie Anspruchsvoll sind die Anforderungen (Fertigkeit, dynamische Belastung, Temperatur)	2-nicht speziell; 3-stark speziell	5
Zwischensumme:		21
Bauteil wirtschaftlich sinnvoll druckbar? <b>ja</b> <span style="background-color: #333; color: white; border-radius: 50%; padding: 2px;"> </span>		
<b>3) Produktion</b>		
Rüstkarten	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	3
Karten für Werkzeug		1
Karten für Formen		3
Lohnanteil (z.B. viele manuelle Montage-schritte - komplexer Bauteil)		4
Karten der konventionellen Fertigungsverfahren (viele Produktionsschritte, Energie, Wartung)		2
Zwischensumme:		13
Potential zur Senkung der Produktionskosten? <b>mäßig</b> <span style="background-color: #FFD700; border-radius: 50%; padding: 2px;"> </span>		
<b>4) Nachfrage</b>		
kundenindividueller Anteil am Bauteil	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	1
Lagerkarten		2
Wahrscheinlichkeit für schlechte prognostizierbarkeit Nachfrage		2
Wahrscheinlichkeit für geringe, diskontinuierliche Nachfrage		2
<b>5) Beschaffung</b>		
Frachtkarten	1-nicht relevant; 2-niedrig; 3-durchschnittlich; 4-überdurchschnittlich; 5-hoch	3
Zollkarten für Import		1
Wahrscheinlichkeit für geringe Anzahl bzw. keine Verfügbarkeit von Bezugsquellen		1
Wahrscheinlichkeit für geringe Termintreue der Lieferanten		3
Zwischensumme:		15
Potential On-Demand-Produktion? <b>mäßig</b> <span style="background-color: #FFD700; border-radius: 50%; padding: 2px;"> </span>		
<b>Gesamtpunktzahl</b>		<b>49</b>
<b>3D-Druck-Eignung: 52%</b> <span style="font-size: 2em; color: white;">😊</span>		

Abbildung 7: Ergebnis der Überprüfung von Halterung II




	Bauteilname typische Laggröße konventionell benötigte Laggröße 3D-Druck Abmaße [mm] Gewicht [kg] Produktionskarten [1] Material	Designblende 1.000 1.000 60 x 150 x 25 0,1 3,00 Kunststoff
	<b>Teileauswahl</b>	
	<b>1) KO-Kriterien</b>	
	digitale 3D-Daten sind verfügbar	ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Bauteil kleiner als 250 x 250 x 300 mm (B/L/H)	ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	<input type="button" value="ok"/>	
	<b>2) Bauteil</b>	
<b>Bewertungskala</b>		
Bauteilkomplexität	1	
Kartonezparnis durch Rohstoffsubstitution	1	
Potentiale durch Gewichtreduktion	1	
Ist eine 3D-Druck-gerechte Umkonstruktion möglich?	2	
Ist Funktionsintegration möglich?	2	
Wie Anspruchsvoll sind die Anforderungen (Fertigkeit, dynamische Belastung, Temperatur)	2	
Zwischensumme: 9		
Bauteil wirtschaftlich/rinnvall druckbar? <b>nein</b> <input type="checkbox"/>		
<b>3) Produktion</b>		
Rückkarten	2	
Karten für Werkzeug	1	
Karten für Formen	2	
Lohnanteil (z.B. viele manuelle Montage-schritte-komplexer Bauteil)	1	
Karten der konventionellen Fertigungsverfahren (viele Produktionsschritte, Energie, Wartung)	2	
Zwischensumme: 8		
Potential zur Senkung der Produktionskarten? <b>mäßig</b> <input type="checkbox"/>		
<b>4) Nachfrage</b>		
kundenindividueller Anteil am Bauteil	1	
Lagerkarten	2	
Wahrscheinlichkeit für schlechte Prognostizierbarkeit Nachfrage	1	
Wahrscheinlichkeit für geringe, diskontinuierliche Nachfrage	1	
<b>5) Beschaffung</b>		
Frachtkarten	2	
Zollkarten für Import	1	
Wahrscheinlichkeit für geringe Anzahl bzw. keine Verfügbarkeit von Bezugsquellen	1	
Wahrscheinlichkeit für geringe Termintreue der Lieferanten	2	
Zwischensumme: 11		
Potential On-Demand-Produktion? <b>nein</b> <input type="checkbox"/>		
<b>Gesamtpunktzahl 28</b>		
<b>3D-Druck-Eignung: 29%</b> <input type="checkbox"/>		

Abbildung 8: Ergebnis der Überprüfung von Designblende

Am Ende des Prozesses muss in der Entscheidungsphase festgelegt werden, welches der in der Checkliste positiv bewerteten Teile das größte Potential besitzt. Wenn sich die 3D-Druck-Kompetenz im Unternehmen noch im Aufbau befindet, ist zu empfehlen mit unkritischen und verhältnismäßig einfachen Teilen zu beginnen, wie das Beispiel im nachfolgenden Kapitel zeigt.

## ANWENDUNGSBEISPIEL DER FIRMA WENZEL

Bei dem hier betrachteten Bauteil handelt es sich um eine Halterung für einen optischen Sensor, die sowohl eine Kamera als auch einen Beamer aufnehmen muss. Die Anwendung der Checkliste ist in den Abbildungen 1-6 dokumentiert. Mit einem Ergebnis von 65% sprach besonders die Möglichkeit der Eigenschaftsverbesserung durch Designoptimierung für dieses Teil.

Ausgangspunkt für die 3D-Druck-gerechte Konstruktion war das Funktionsmuster in Abbildung 9. Zum Überprüfen der Funktionalität wurde dieses mittels FDM-Verfahren

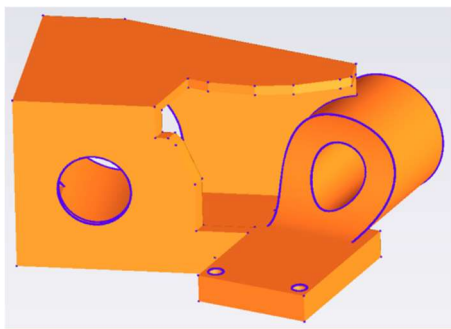


Abbildung 9: Ausgangskonstruktion der Halterung

gedruckt. Das ist kostengünstig und in diesem Entwicklungsstadium qualitativ ausreichend. Schon mit bloßem Auge ist erkennbar, dass das Bauteil für die geforderte Funktion recht massiv erscheint. Daher erfolgte im nächsten Schritt eine Topologie Optimierung mithilfe eines FEA-Systems. Die so berechnete Geometrie wurde dann mittels Reverse Engineering in CAD-konforme Daten konvertiert. Mittels CAD wurde die Geometrie zum Fertigteil konstruiert. Hierbei

ist es wichtig, die Eigenschaften von allen beteiligten Bauteilen zu kennen, um optimale CAD-Konstruktionen für das 3D-Druck-Verfahren zu erzeugen. Die Abbildung 10 zeigt den Vorgang, bei dem die Berechnungen erfolgten.



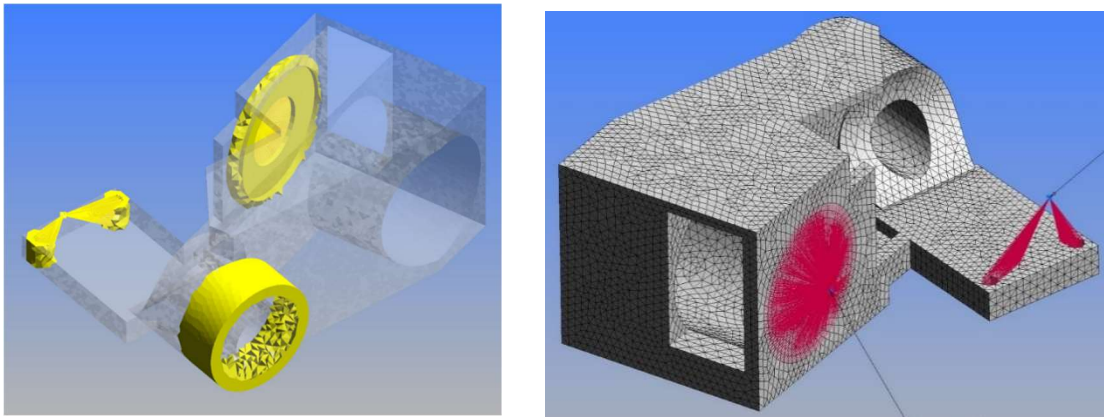


Abbildung 10: Ergebnis der Berechnungen

Das Berechnungsergebnis der Topologie-Optimierung und das Ergebnis des Reverse Engineerings sind in den folgenden Abbildungen zu sehen.

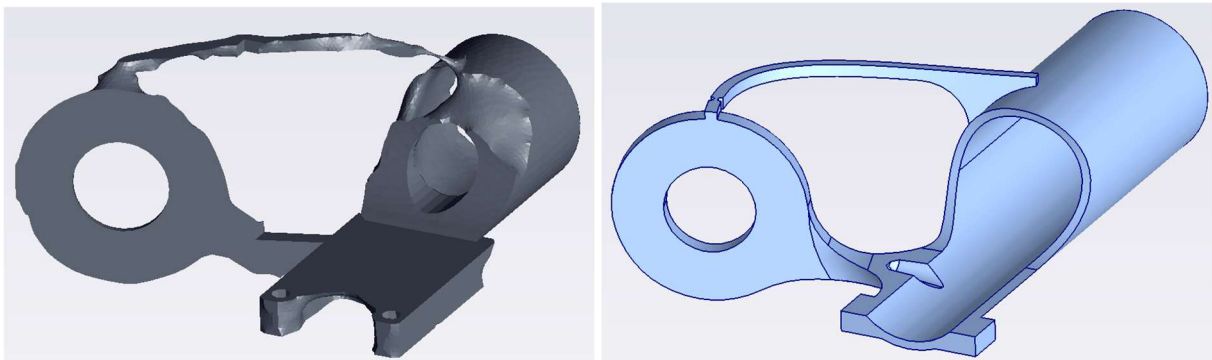


Abbildung 11: Berechnungsergebnis und angepasste Konstruktion

Um ein für den 3D-Druck optimal geeignetes Teil zu erhalten, muss dieses Vorgehen iterativ so lange vorgesetzt werden, bis ein optimales Ergebnis vorliegt, wie es in Abbildung 12 zu sehen ist.

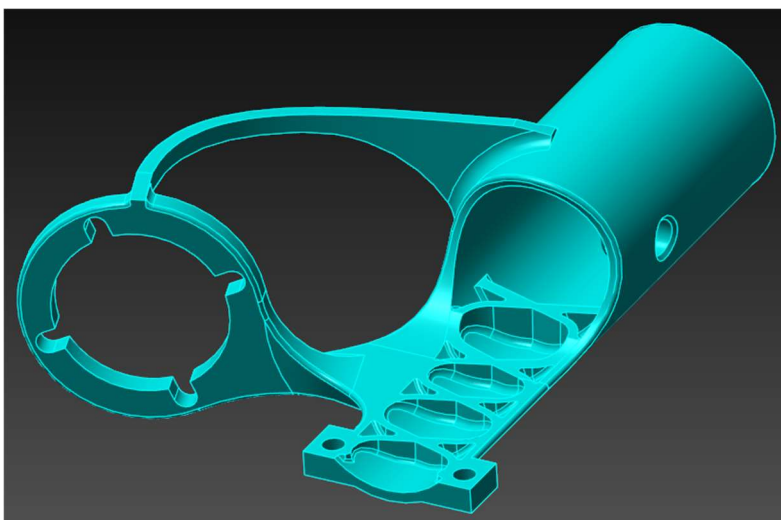


Abbildung 12: 3D-Druck-gerechte Konstruktion

Im Anschluss wurde das Teil im SLM-Verfahren gedruckt. Die Wahl des Druckverfahrens beeinflusst die Konstruktion, so dass die Entscheidung für ein geeignetes 3D-Druck-Verfahren vor dem Redesign erfolgen muss.

## FAZIT

Bevor in einem Unternehmen nach geeigneten Teilekandidaten für den 3D-Druck geschaut werden kann, müssen zwingend entsprechende Kompetenzen aufgebaut werden. Erfolgreich können geeignete Teile nur dann identifiziert werden, wenn die Zusammenhänge zwischen Material, Konstruktion und Bauteileigenschaften in Bezug auf 3D-Druck verstanden wurden. Die sogenannte Informationsphase dient nicht nur dazu Wissen im Bereich 3D-Druck aufzubauen, sie sollte auch dazu genutzt werden das eigene Teileportfolio zu untersuchen. Häufig sind notwendige Teiledaten im Unternehmen verstreut oder sind gar nicht erfasst, das erschwert den Auswahlprozess. Daher ist die Kenntnis um die Qualität der Teiledaten wichtig. Doch das können nur die Anfangsbedingungen sein, denn entscheidend für den unternehmerischen Erfolg ist die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens. Hier bietet die vorgestellte Checkliste Unterstützung bei der Entscheidung für oder gegen einen Kandidaten an. In der Bewertungsphase wird hier nun anhand verschiedenster Kriterien eine Einschätzung über das 3D-Druck-Potential eines jeden Teilekandidaten gegeben. Aufgabe der Entscheider ist im Anschluss in der Entscheidungsphase, die vielversprechendsten Kandidaten unter den als möglich identifizierten herauszusuchen. Diese Entscheidung ist von vielfältigen Faktoren abhängig und aufgaben- bzw. unternehmensspezifisch. Wurde ein Teil, welches bisher konventionell gefertigt wurde, für den 3D-Druck ausgewählt, müssen zunächst alle geforderten Eigenschaften und Daten zusammengetragen werden. Anhand dieser kann dann ein geeignetes Verfahren gewählt werden und eine 3D-Druck-gerechte Konstruktion erfolgen. Die Auswahl geeigneter Teile ist somit nur ein erster Schritt, der Erfolg des Einsatzes von 3D-Druck im Unternehmen hängt jedoch entscheidend von dem 3D-Druck-gerechten Redesign und dessen Umsetzung ab.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Anderl, R., & Arndt, A. (2014). *Additive Manufacturing oder generative Fertigungsverfahren - vom Prototypen zur Massenfertigung?* Technische Universität Darmstadt, Maschinenbau, Darmstadt. Abgerufen am 17. Juni 2015 von [http://www.hessen-nanotech.de/mm//mm001/3D\\_Additive\\_Manufacturing\\_Anderl\\_TUD.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm//mm001/3D_Additive_Manufacturing_Anderl_TUD.pdf)
- Apis Cor. (20. Februar 2017). *The first on-site house has been printed in Russia*. Von Apis Cor: <http://apis-cor.com/en/about/news/first-house> abgerufen
- Baldinger, M. (2016). Dissertation. *Supply chain management für additive manufacturing*. Basel.
- Bauer, D., & et al. (2016). *Handlungsfelder, Additive Fertigungsverfahren*. VDI.
- DB. (06. Mai 2016). *Ersatzteile auf Knopfdruck*. Von Deutsche Bahn: [http://www.deutschebahn.com/de/konzern/im\\_blickpunkt/11877440/3ddruck.html?start=140&itemsPerPage=10](http://www.deutschebahn.com/de/konzern/im_blickpunkt/11877440/3ddruck.html?start=140&itemsPerPage=10) abgerufen
- EADS IW, & EOS. (2013). *Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“*. Von EOS: [https://cdn0.scrvt.com/eos/public/10ede2705da718b1/a8d351a6c741b553906a2b8b42ac7218/EADS\\_White\\_Paper\\_de.pdf](https://cdn0.scrvt.com/eos/public/10ede2705da718b1/a8d351a6c741b553906a2b8b42ac7218/EADS_White_Paper_de.pdf) abgerufen
- Feldmann, C., & Pumpe, A. (2016). *3D - Druck - Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit. Entscheidungsunterstützung für Unternehmen*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Fiedler, A. (11 2015). *3D-Druckdienstleister*. (H. Schinzer, Hrsg.) Von Hochschule Merseburg. Projekt "3D@KMU": [https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb\\_ww/3D\\_KMU/3D\\_at\\_KMU\\_Arbeitsbericht6\\_3dDL.pdf](https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht6_3dDL.pdf) abgerufen
- Fiedler, A. (12 2016). *Vom Original zur Kopie: Reverse Engineering für den 3D-Druck*. (H. Wenzel-Schinzer, Hrsg.) Von Hochschule Merseburg. Projekt "3d@KMU": [https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb\\_ww/3D\\_KMU/3D\\_at\\_KMU\\_Arbeitsbericht10\\_RE\\_4\\_AM.pdf](https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht10_RE_4_AM.pdf) abgerufen
- Fiedler, A. (10 2016b). *Marktstudie 3D-Druck in der Anwendung*. (H. Wenzel-Schinzer, Hrsg.) Von Hochschule Merseburg. Projekt "3D@KMU": [https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb\\_ww/3D\\_KMU/3D\\_at\\_KMU\\_Arbeitsbericht9\\_Marktstudie\\_3D\\_Anwender.pdf](https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht9_Marktstudie_3D_Anwender.pdf) abgerufen

- Fiedler, A., & Taslitsky, V. (März 2017). *Best Practice Guide 3D-Druck*. (H. Wenzel-Schinzler, Hrsg.) Abgerufen am 13. März 2017 von Hochschule Merseburg. Projekt "3D@KMU": KOMMT
- Fonseca, J. (4. Juli 2015). *3D Printing in Rotterdam Port*. Von Maritime Logistics Professional: <http://www.maritimeprofessional.com/news/printing-rotterdam-port-274044> abgerufen
- Gebhardt, A. (2016). *Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion* (5. Ausg.). München: Carl Hanser.
- Gebhardt, A., Kessler, J., & Thurn, L. (2016). *3D-Drucken, Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM)*. München: Carl Hanser Verlag.
- Gershenfeld, N. (2005). *Fab – The Coming Revolution on Your Desktop from Personal Computers to Personal Fabrication*. New York: Basic Books.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). *Additive manufacturing technologies*. Springer.
- Giessen, H. (28. Juni 2016). *3D printing enables the smallest complex micro-objectives*. Von Uni Stuttgart: [https://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2016/049\\_optische\\_linsen.html?\\_\\_locale=en](https://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2016/049_optische_linsen.html?__locale=en) abgerufen
- Government of Dubai. (30. September 2016). *RTA to roll out 3D Printing Technology on Dubai Metro*. Von Media Office: <http://www.mediaoffice.ae/en/media-center/news/30/9/2016/rta.aspx> abgerufen
- Hullinger, J. (28. Januar 2016). *Ikea Wants You To Stop Throwing Away Your Ikea Furniture*. Von Fast Company: <https://www.fastcompany.com/3055971/ikea-wants-you-to-stop-throwing-away-your-ikea-furniture> abgerufen
- Krämer, A. (27. Juli 2016). *Mercedes Benz bietet zukünftig den 3D-Druck von Ersatzteilen*. Von 3D-Grenzenlos: <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/kurznachrichten/mercedes-benz-ersatzteile-aus-3d-drucker-27182613/> abgerufen
- Kreimeyer, M. (15. Dezember 2015). *Selbst hergestellter Modellbausatz aus dem 3D Drucker*. Von 3Druck: <https://3druck.com/case-studies/selbst-hergestellter-modellbausatz-aus-dem-3d-drucker-2640327/> abgerufen

- Lindemann, C., Reiher, T., Jahnke, U., & Koch, R. (2015). Towards a sustainable and economic selection of part candidates for additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 21(2), S. 216-227.
- Netzwerk 3D-Druck von Ersatzteilen. (17. Februar 2017). *Startschuss für das Netzwerk „3D-Druck von Ersatzteilen“*. Von 3D Druck von Ersatzteilen: [http://www.3dde.online/aktuelles/aktuelles-detail.html?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=9&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=94aa580fd6ea35aca7f7a62987b3fca8](http://www.3dde.online/aktuelles/aktuelles-detail.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=9&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=94aa580fd6ea35aca7f7a62987b3fca8) abgerufen
- Nyman, H., & Sarlin, P. (2014). From Bits to Atoms: 3D Printing in the Context of Supply Chain Strategies. Hawaii: International Conference on System Science.
- Prusa, J. (kein Datum). *Prusa3D*. Von 3D Printing Handbook: [http://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d\\_manual\\_mk2\\_en.pdf](http://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk2_en.pdf) abgerufen
- Richter, S., & Wischmann, S. (2016). *Additive Fertigungsmethoden - Entwicklungsstand, Marktperspektiven für den industriellen Einsatz und IKT-spezifische Herausforderungen bei Forschung und Entwicklung*. Berlin: Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0.
- Schmidt, T. (2016). *Potentialbewertung generativer Fertigungsverfahren für Leichtbauteile*. Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg.
- US Patent & Trademark Office. (5. März 2015). *Three Dimensional Printing of Parts*. Von US Patent & Trademark Office: <http://appft1.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PG01&p=1&u=/netahtml/PTO/srchnum.html&r=1&f=G&l=50&s1=20150064299.PG NR.> abgerufen
- Wenzel-Schinzler, H., & Fiedler, A. (2018). A3M: Entwicklung eines Reifegradmodelles für 3D-Druck. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, S. 1-17. doi:<https://doi.org/10.1365/s40702-018-0397-7>
- Wyss Institute. (11. Oktober 2016). *A step forward in building functional human tissues*. Von Wyss Harvard: <https://wyss.harvard.edu/a-step-forward-in-building-functional-human-tissues/> abgerufen
- Zäh, M. (2013). *Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien*. München: Carl Hanser.
- Zieverink, J. (3. August 2015). *FDA approves the first 3d printed drug product*. Von Aprelia Pharmaceuticals:

[https://www.aprecia.com/pdf/2015\\_08\\_03\\_Spritam\\_FDA\\_Approval\\_Press\\_Release.pdf](https://www.aprecia.com/pdf/2015_08_03_Spritam_FDA_Approval_Press_Release.pdf)  
abgerufen

Zimmer, D., & Adam, G. (7-8 2013 ). Konstruktionsregeln für additive Fertigungsverfahren.  
*Konstruktion*, S. 77-82.