

## Leseprobe

zu

## 3D-Druck für Führungskräfte

von Oliver Kunze, Johannes Schilp, Fabian Frommer,  
Fabio Oettl und Galiya Klinkova

Print-ISBN: 978-3-446-47604-2

E-Book-ISBN: 978-3-446-47728-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446476042>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>TEIL A</b>	<b>Technologie</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Kategorisierung der 3D-Druckverfahren</b> .....	<b>7</b>
2.1	Verfahrensklassen, -familien und -arten .....	7
2.2	Verfahrenstaxonomie .....	8
2.3	Grafische Idealisierung .....	9
<b>3</b>	<b>Technologische Übersicht der 3D-Druckverfahren</b> .....	<b>13</b>
3.1	„In-Gas“-Druckverfahren .....	13
3.1.1	Material Extrusion (MEX) .....	14
3.1.1.1	Material Extrusion – Thermal Reaction Bond (MEX-TRB) ..	15
3.1.1.2	Material Extrusion – Chemical Reaction Bond (MEX-CRB) ..	18
3.1.1.3	Material Extrusion mit thermischer Nachbehandlung (MEX-*Heat) .....	19
3.1.1.4	Material Extrusion mit Faserverstärkung (MEX-*Fiber) ..	20
3.1.1.5	Druckbeispiele .....	21
3.1.1.6	Vorteile .....	22
3.1.2	Directed Energy Deposition (DED) .....	22
3.1.2.1	DED-Verfahren mit Drahtmaterial .....	23
3.1.2.1.1	Druckbeispiel .....	24
3.1.2.1.2	Vorteile .....	24
3.1.2.2	DED-Verfahren mit Pulverstrahl .....	24
3.1.2.2.1	Druckbeispiel .....	25
3.1.2.2.2	Vorteile .....	26
3.1.2.3	Pulverstrahlverfahren mit Überschallaufprall (DED-SSI) ..	26

3.1.2.3.1	Druckbeispiele	28
3.1.2.3.2	Vorteile	28
3.1.3	Material Jetting Technology (MJT)	28
3.1.3.1	Verfahrensunterfamilien (MJT-TRB, -CRB und -UV)	29
3.1.3.2	Druckbeispiele	31
3.1.3.3	Vorteile	31
3.2	„In-Solid“-Druckverfahren	32
3.2.1	Powder Bed Fusion (PBF)	32
3.2.1.1	Powder Bed Fusion – Laser Beam (PBF-LB)	32
3.2.1.2	Powder Bed Fusion – Electron Beam (PBF-EB)	35
3.2.1.3	Powder Bed Fusion – Infra Red Light (PBF-IrL)	36
3.2.1.4	Druckbeispiele	36
3.2.1.5	Vorteile	37
3.2.2	Binder Jetting Technology (BJT)	37
3.2.2.1	Binder Jetting Technology – Single Step (BJT-SSt)	38
3.2.2.2	Binder Jetting Technology – Multi Step (BJT-MSt)	38
3.2.2.3	Druckbeispiele	39
3.2.2.4	Vorteile	40
3.2.3	Sheet Lamination (SHL)	40
3.2.3.1	Sheet Lamination – Adhesive Joining (SHL-AJ)	40
3.2.3.1.1	Druckbeispiele	42
3.2.3.1.2	Vorteile	43
3.2.3.2	Sheet Lamination – Ultrasonic Consolidation (SHL-UC)	43
3.3	„In-Liquid“-Druckverfahren	43
3.3.1	Vat Photopolymerization (VPP)	43
3.3.1.1	Vat Photopolymerization mit UV-Laser (VPP-UVL)	44
3.3.1.2	Vat Photopolymerization mit Maske (VPP-UVM)	46
3.3.1.3	Vat Photopolymerization mit LED (VPP-LED)	46
3.3.1.4	Vat Photopolymerization mit thermischer Nach- behandlung (VPP-*-Heat)	47
3.3.1.5	Druckbeispiele	47
3.3.1.6	Vorteile	48
3.3.2	„In-Liquid“-Verfahren außerhalb der DIN EN ISO/ASTM 52900	48
3.3.2.1	In Jelly Drop on Demand Deposition (JDD)	48
3.3.2.2	Weitere Verfahren außerhalb der DIN EN ISO/ASTM 52900	49

<b>4</b>	<b>Verfügbare Materialien für den 3D-Druck</b>	<b>51</b>
4.1	Polymere (/P)	51
4.1.1	Plastische und elastische Polymere	51
4.1.2	Faserverstärkte Polymere	52
4.1.3	Polymere mit Zusätzen	52
4.1.4	Ausgewählte 3D-Druck-relevante Polymereigenschaften.	52
4.1.4.1	Löslichkeitseigenschaften	53
4.1.4.2	Hygroskopische Eigenschaften	53
4.1.4.3	Weitere Eigenschaften	53
4.2	Metalle (/M)	53
4.3	Keramische Werkstoffe (/C)	54
4.4	Mörtel und Beton	54
4.5	Wachs	55
4.6	Papier	55
4.7	Holz	55
4.8	Lebensmittel	56
4.9	Lebendzellen	56
4.10	Materialbezogene ökologische Aspekte	56
<b>TEIL B</b>	<b>Prozesse &amp; IT</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>Die 3D-Druck-Prozesskette</b>	<b>61</b>
5.1	Datenvorbereitung	62
5.1.1	Reverse Engineering durchführen	62
5.1.2	Konstruktion erstellen	62
5.1.3	3D-CAD-Modell erzeugen	63
5.1.4	Polygonisierung durchführen	63
5.2	Pre-Prozess	66
5.2.1	Bauteilorientierung festlegen	67
5.2.2	Supportstrukturen einfügen	69
5.2.3	Nesting durchführen	70
5.2.4	Slicing durchführen	71
5.2.5	Anlage einrichten und rüsten	72
5.3	In-Prozess	72
5.3.1	Baujob ausführen	72

5.3.2	Entnehmen/Entpacken .....	73
5.3.3	Optionale Finalisierungsschritte .....	73
5.4	Post-Prozess .....	74
5.4.1	Reinigung, Materialreste und Supportstrukturen entfernen .....	74
5.4.2	Nachbearbeiten.....	75
<b>6</b>	<b>Digitalisierung der 3D-Druck-Prozesskette .....</b>	<b>81</b>
6.1	Digitaler Zwilling, Digitaler Schatten und Digitales Modell – eine Begriffsabgrenzung .....	81
6.2	Einsatzmöglichkeiten des Digitalen Zwillings im 3D-Druck .....	84
6.3	Mehrwert des Digitalen Zwillings .....	86
6.3.1	Identifizierung der Einsatzmöglichkeiten .....	86
6.3.2	Ermittlung des Nutzens.....	87
6.3.3	Ermittlung der Kosten .....	89
6.3.4	Ermittlung des Mehrwerts .....	90
<b>TEIL C</b>	<b>Ökonomie .....</b>	<b>95</b>
<b>7</b>	<b>Ökonomische Aspekte des 3D-Drucks .....</b>	<b>97</b>
7.1	Kommerzielle Potenziale des 3D-Drucks .....	97
7.1.1	Individualisierung: Produktion kleiner Losgrößen .....	98
7.1.2	Ressourceneffizienz und Materialeinsparung.....	99
7.1.3	Resilienz und Supply Chain Disruption.....	107
7.1.3.1	Multiple Ursachen für die Vulnerabilität globaler Supply Chains .....	107
7.1.3.2	Lieferkettenunterbrechungen im Lean-Zeitalter .....	107
7.1.3.3	Die hilfreiche Rolle des 3D-Drucks bei Lieferketten- unterbrechungen .....	108
7.1.4	Substitution von physischem Transport: verwendungsortnahe Produktion.....	108
7.1.5	Substitution von physischer Lagerung: Print on Demand.....	112
7.2	Neue Geschäftsmodelle durch 3D-Druck .....	113
7.2.1	Neue Geschäftsmodelle in der Logistik .....	114
7.2.2	Neue Geschäftsmodelle in der Medizin und Medizintechnik .....	116
7.2.3	Neue Geschäftsmodelle in der Lebensmittelbranche .....	118

7.3	Kostenkalkulation für den 3D-Druck .....	118
7.3.1	Kostenarten des 3D-Drucks .....	119
7.3.2	Kostenszenarien beim 3D-Druck – Make or Buy .....	122
7.3.3	Ausgewählte Kostenbeispiele .....	123
7.3.3.1	Kostenbeispiel 1: Kleine Losgröße .....	124
7.3.3.2	Kostenbeispiel 2: Formoptimierung .....	127
7.3.3.3	Kostenbeispiel 3: Supply Chain Disruption .....	130
7.3.3.4	Kostenbeispiel 4: Detailbetrachtung der Stückkosten im 3D-Druck unter Berücksichtigung von Batchgrößen .....	132
<b>TEIL D</b>	<b>Ökologie .....</b>	<b>139</b>
<b>8</b>	<b>Ökologische Aspekte des 3D-Drucks .....</b>	<b>141</b>
8.1	Ökologische Potenziale des 3D-Drucks .....	141
8.2	Bewertung von Umweltwirkungen (Life Cycle Assessment) .....	146
8.2.1	Definition des Ziels und Untersuchungsumfangs .....	148
8.2.2	Lebenszyklus-Sachbilanz .....	149
8.2.3	Lebenszyklus-Wirkungsabschätzung .....	151
8.2.4	Interpretation .....	153
8.3	Fallstudien zur Bewertung ökologischer Potenziale des 3D-Drucks .....	154
8.3.1	Fallstudie 1: Verlängerung des Produktlebenszyklus durch 3D- gedruckte Ersatzteile .....	155
8.3.2	Fallstudie 2: Verkürzung der Lieferdistanzen und Form- optimierung durch verwendungsnahen 3D-Druck .....	162
<b>TEIL E</b>	<b>Integration .....</b>	<b>171</b>
<b>9</b>	<b>Integration von 3D-Druck ins Unternehmen .....</b>	<b>173</b>
9.1	Strategische Integration .....	173
9.2	Direkte Integration .....	178
9.3	Indirekte Integration .....	179
9.4	Auswahl zeitintensiver Prozesse bei der Integration von 3D-Druck in bestehende Unternehmensabläufe .....	181
	<b>Glossar .....</b>	<b>189</b>
	<b>Index .....</b>	<b>193</b>

Der Verlag und die Autoren haben sich mit der Problematik einer gendergerechten Sprache intensiv beschäftigt. Um eine optimale Lesbarkeit und Verständlichkeit sicherzustellen, wird in diesem Werk auf Gendersternchen und sonstige Varianten verzichtet; diese Entscheidung basiert auf der Empfehlung des Rates für deutsche Rechtschreibung. Grundsätzlich respektieren der Verlag und die Autoren alle Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht, ihrer Sexualität, ihrer Hautfarbe, ihrer Herkunft und ihrer nationalen Zugehörigkeit.

# 1

# Einführung

Oliver Kunze, Johannes Schilp

Was ist 3D-Druck? Wie funktioniert dieses faszinierende Fertigungsverfahren, und was kann man damit herstellen? Was kostet der Einsatz der Technologie? Wie lässt sich 3D-Druck in bestehende Fertigungsprozesse integrieren? Und welche Auswirkungen hat der Einsatz von 3D-Druck auf unsere Umwelt? Das vorliegende Buch soll dazu beitragen, diese Fragen für Entscheidungsträger ohne Vorkenntnisse und ohne ingenieurstechnischen Hintergrund auf kompakte Weise zu beantworten. Es ist auch als Einstiegsliteratur zum Thema 3D-Druck für Studierende nichttechnischer Fächer geeignet.

Den Begriff „3D-Druck“ (3DD) haben wir bewusst gewählt, da sich dieser intuitiv besser erfassen lässt als der technisch korrektere Begriff „Additive Fertigung“ (engl. *Additive Manufacturing*, AM). Doch 3D-Druck ist nicht nur ein einziges Verfahren, sondern setzt sich aus einer Vielzahl von Verfahrensklassen zusammen, von denen sich alle ständig weiterentwickeln. Der 3DD-Einsteiger wird daher in der Regel mit einer wahren Flut von historisch gewachsenen und untereinander nicht immer konsistenten Drei-Buchstaben-Akronymen konfrontiert (wie z. B. FDM, SLA oder SLS), welche den Zugang zum Thema unnötig erschweren. Wir wollen mit diesem Buch daher auch einen Beitrag dazu leisten, Ordnung in die Fülle von (überwiegend englischen) Begriffen<sup>1</sup> und Akronymen zu bringen und dem Laien eine leicht verständliche Übersicht zu bieten.

Das Buch gliedert sich in folgende Teile:

- Teil A: Technologie

In Kapitel 2 wird eine Technologiekategorisierung vorgenommen, d. h. die Vorstellung einer systematischen Kategorisierung der unterschiedlichen 3D-Druck-Verfahrensklassen und -familien mit Bezug zur DIN EN ISO/ASTM 52900. Kapitel 3 liefert eine Technologieübersicht, d. h., die einzelnen 3D-Druckverfahren werden auf anschauliche Weise für Nichttechniker erklärt.

---

<sup>1</sup> Die verwendeten Abkürzungen, Begriffe und Definitionen entsprechen so weit wie möglich den nationalen und internationalen Standardisierungen und Normen.

In Kapitel 4 wird eine Übersicht der verfügbaren Druckmaterialien präsentiert, d. h., die unterschiedlichen Materialklassen, welche sich mit 3D-Druckverfahren verarbeiten lassen, werden beschrieben.

- Teil B: Prozesse & IT

In Kapitel 5 werden die wesentlichen Elemente der 3D-Druck-Prozesskette erläutert. Kapitel 6 behandelt die Digitalisierung der 3D-Druck-Prozesskette. Hier wird dargestellt, wie der Prozess digital unterstützt werden kann (Stichwort „Digitaler Schatten“ und „Digitaler Zwilling“).

- Teil C: Ökonomie

Kapitel 7 beschäftigt sich mit den kommerziellen Potenzialen des 3D-Drucks. Da Entscheidungsträger in der Regel auch eine ökonomische Bewertung neuer Technologien für ihr jeweiliges Geschäftsmodell erstellen müssen, werden kommerzielle Potenziale im Kontext aktueller Entwicklungen und Trends aufgezeigt. Außerdem enthält das Kapitel eine Kostenkalkulation für den 3D-Druck, d. h., es werden unter anderem Kalkulationsannahmen erläutert und anhand von konkreten Beispielen illustriert.

- Teil D: Ökologie

Um die ökologischen Aspekte des 3D-Drucks für den jeweiligen Anwendungsfall bewerten zu können, wird in Kapitel 8 eine Methode zur Quantifizierung der ökologischen Effekte vorgestellt und mithilfe von konkreten Beispielen erläutert.

- Teil E: Integration

Kapitel 9 enthält Anregungen für Manager, wie sich 3D-Druck strategisch und operational in die Wertschöpfung von Firmen integrieren lässt.

Ein Glossar (Abkürzungsverzeichnis), das Ihnen die gezielte Suche nach einzelnen Akronymen und Begriffen in diesem Buch erleichtert, rundet den Inhalt ab.

Auch aktuelle Aspekte aus laufenden Diskussionen in verschiedenen nationalen und internationalen Expertengremien und deren (Zwischen-)Ergebnisse haben wir passend zu den einzelnen Themenschwerpunkten nach Möglichkeit in dieses Buch eingebracht. Bei den Themenschwerpunkten Digitalisierung und Industrialisierung bzw. Ökonomie und Integration der 3D-Druck-Prozesskette stehen wir unter anderem im engen Austausch mit dem Arbeitskreis „Industrialisierung“ in der Arbeitsgemeinschaft „Additive Manufacturing“ des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), in dem rund 200 Firmen die gesamte Bandbreite der Prozesskette der additiven Fertigung repräsentieren.

Unser besonderer Dank gilt dem bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV), welches durch die Förderung des Verbundteilprojekts Rev3D im Projektverbund ForCYCLE II<sup>2</sup> maßgeblich zur Entstehung dieses Buches beigetragen hat, allen Mitarbeitern und Partnerfirmen des Verbundteilprojekts Rev3D sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Hochschule Neu-Ulm (HNU) und der Universität Augsburg (UA), die an der Entstehung dieses Buches mitgewirkt haben. Namentlich seien hier insbesondere Fabian Frommer, Fabio Oetl und Galiya Klinkova genannt, die als Co-Autoren Inhalte beigesteuert haben.

Wir wünschen allen Lesern viel Spaß und Erkenntnis beim Lesen!

Prof. Dr.-Ing. Oliver Kunze  
(Hochschule Neu-Ulm)

Prof. Dr.-Ing Johannes Schilp  
(Universität Augsburg)

---

<sup>2</sup> Das Projekt ForCYCLE II wurde





# **TEIL A**

## **Technologie**



# 2

## Kategorisierung der 3D-Druckverfahren

Oliver Kunze

Im Sprachgebrauch der 3D-Druck-Community wird in der Regel eine Fülle von historisch gewachsenen Verfahrensnamen und Kürzeln verwendet, welche nicht immer systematisch und uneindeutig sind und die oft auch nur deshalb existieren, um ein Copyright der Technologiehersteller für das jeweilige Verfahren kenntlich zu machen. Eine möglichst trennscharfe und vollständige Kategorisierung der unterschiedlichen 3D-Druckverfahren<sup>1</sup> bzw. -technologien zu schaffen ist jedoch unbedingt notwendig, da zum einen selbst bei Namensähnlichkeit oft große Verfahrensunterschiede bestehen (z. B. Binder Jetting, BJ, versus Poly Jetting, PJ) und da sich diese Ähnlichkeit zum anderen selbst bei sehr ähnlichen Verfahren nicht anhand der gebräuchlichen Verfahrensnamen erkennen lässt (z. B. Digital Light Processing, DLP, versus Liquid Crystal Display, LCD).

### ■ 2.1 Verfahrensklassen, -familien und -arten

Die historisch gewachsene Namensgebung der 3D-Druckverfahren folgt somit keinem durchgängigen Muster. Wir versuchen daher, im Folgenden eine verständliche Kategorisierung der unterschiedlichen Verfahren mit Bezug auf die aktuelle Version der DIN EN ISO/ASTM 52900 einzuführen. Dazu schlagen wir in Anlehnung an Gebhardt und Höttner (Gebhardt/Höttner 2016) vor, die verschiedenen Technologien zunächst anhand der Aggregatzustände des Mediums, das das Druckobjekt beim Druck jeweils umgibt, nach folgenden drei *Verfahrensklassen* zu unterscheiden:

- Druck in gasförmiger Umgebung
- Druck in flüssiger Umgebung
- Druck in einer festkörperartigen Umgebung

Druckverfahren in einer festkörperartigen Umgebung kann man darüber hinaus nach den Medien „powder bed“ (Pulverbett) und „sheets“ (deutsch: Bogen, Blätter, Lagen<sup>2</sup>) unterscheiden.

<sup>1</sup> Auch additive Fertigungsverfahren genannt (engl. *Additive Manufacturing*, AM)

<sup>2</sup> Zum Beispiel eine Lage Papier oder eine Lage Metallblech

Innerhalb dieser drei Klassen schlagen wir außerdem vor, die Technologien anhand der DIN EN ISO/ASTM 52900-Nomenklatur nach derzeit sieben *Verfahrensfamilien* zu differenzieren:

- Material Extrusion (MEX)
- Material Jetting (MJT)
- Directed Energy Deposition (DED)
- Powder Bed Fusion (PBF)
- Binder Jetting (BJT)
- Sheet Lamination (SHL)
- Vat Photopolymerisation (VPP)

Für die jeweiligen Technologiefamilien differenziert die DIN EN ISO/ASTM 52900 noch weitere spezifische Varianten, welche wir *Verfahrensunterfamilien* nennen. Die Unterfamilien ergeben sich dadurch, dass sich die Verfahren in einer Familie zusätzlich jeweils in spezifischen Eigenschaften voneinander unterscheiden. Diese weiter differenzierenden spezifischen Eigenschaften sind folgende:

- die Art der Herstellung des Bindungszusammenhalts zwischen Schichten (bei MEX und MJT)
- die Art des Energieeintrags (bei DED und PBF)
- die Anzahl der notwendigen Prozessschritte (bei BJT)
- die Art der Schichtverbindung (bei SHL)
- die Art der Belichtungsbeschränkung (bei VPP)

Außerhalb (und somit unterhalb) der Definitionen der DIN EN ISO/ASTM 52900 lassen sich teilweise nochmals differenzierende, oft herstellerspezifische Verfahrensspezifika erkennen, die im Folgenden als *Verfahrensarten* bezeichnet werden.

## ■ 2.2 Verfahrenstaxonomie

Ein Vorschlag für eine 3D-Druck-Verfahrenstaxonomie ist in Bild 2.1 dargestellt. Die drei Spalten repräsentieren somit die Technologieklassen, die sieben fett umrahmten Rechtecke die Technologiefamilien und die einfach umrahmten Rechtecke die Unterfamilien. Die vorgeschlagene Struktur kann zwar nicht alle Eigenschaften, anhand derer sich 3D-Druckverfahren unterscheiden, berücksichtigen, sie bietet jedoch trotzdem eine Orientierungshilfe zur Technologieübersicht und soll daher als Gliederungsstruktur für Kapitel 3 dienen. Die sonst gebräuchlichen (nicht taxonomiekonformen) Verfahrensnamen und -kürzel sind im Glossar alphabetisch sortiert und den vorangehend eingeführten Kategorien (Klassen, Familien, Unterfamilien) zugeordnet.

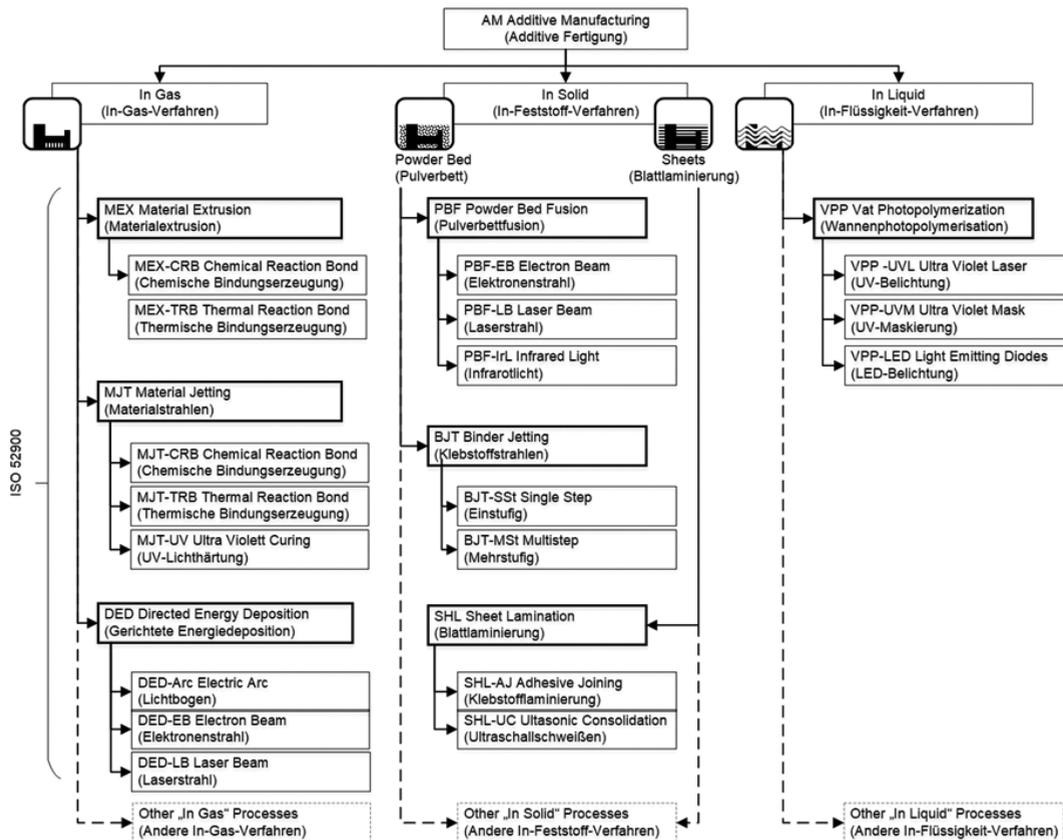
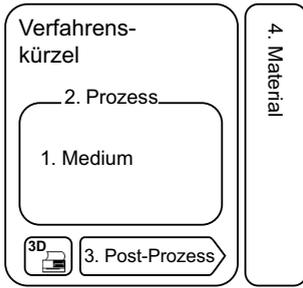


Bild 2.1 Verfahrenstaxonomie

## 2.3 Grafische Idealisierung

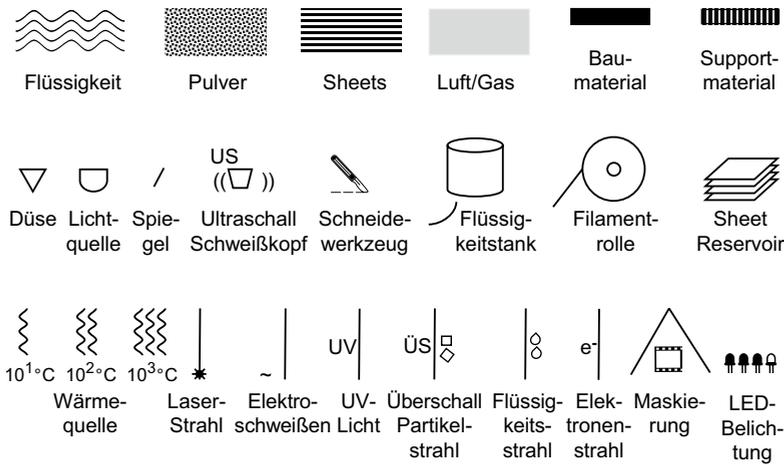
Um einen besseren Überblick über die Vielzahl der verschiedenen 3D-Druckverfahren herzustellen und um die unterschiedlichen Verfahren jeweils „auf einen Blick“ zu beschreiben, idealisieren wir die verschiedenen Aspekte der jeweiligen Verfahren im Folgenden durch eine grafische Icondarstellung. Diese beinhaltet zusätzlich zur Taxonomie auch wesentliche notwendige Nachbearbeitungsschritte und verwendbare Materialien.

Für diese Idealisierung verwenden wir das in Bild 2.2 gezeigte vierdimensionale Darstellungsschema, welches erstens das Medium im Bauraum, zweitens den technischen Druckprozess selbst (In-Prozess), drittens die notwendigen Nachbearbeitungsschritte (Post-Prozess) und viertens die verwendbaren Materialien darstellt.

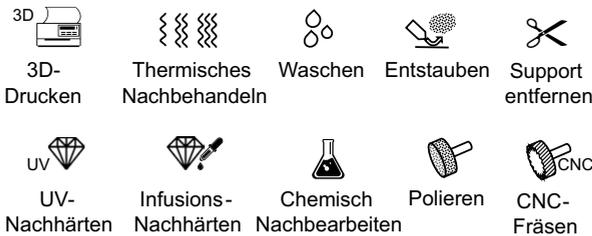


**Bild 2.2** Idealisiertes Darstellungsschema für unterschiedliche 3D-Druckverfahren

Um die technischen Elemente des eigentlichen Druckverfahrens jeweils idealisiert darzustellen, verwenden wir die in Bild 2.3 dargestellten Symbole bzw. Icons. Um die Idealisierung bezüglich der Nachbearbeitungsprozesse jeweils zu visualisieren, verwenden wir die in Bild 2.4 dargestellten Symbole bzw. Icons. Um die üblicherweise mit dem Verfahren druckbaren Materialien zu visualisieren, verwenden wir die in Bild 2.5 dargestellten Symbole bzw. Icons.



**Bild 2.3** Icons für die technischen Elemente der 3D-Druckverfahren



**Bild 2.4** Icons für die Nachbearbeitungsprozesse



**Bild 2.5** Icons für die druckbaren Materialien

Damit lassen sich die 3D-Druckverfahren analog zur vorangehend definierten Verfahrenstaxonomie eindeutig und anhand von zusammengesetzten Symbolen beschreiben. Die Verfahren sind in Kapitel 3 auf verständliche Weise, sowohl textlich als auch bildlich, beschrieben. Für eine weiterführende und technisch tiefere Beschreibung der einzelnen Verfahren der unterschiedlichen Hersteller verweisen wir auf die jeweiligen technischen Dokumentationen dieser Hersteller.

### Literatur

*DIN EN ISO/ASTM 52900:2022-03: Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary.* Beuth Verlag, Berlin 2022

*Gebhardt, Andreas/Hötter, Jan-Steffen: Additive Manufacturing. 3D Printing for Prototyping and Manufacturing.* Carl Hanser Verlag, München 2016

# Index

## Symbole

- 3D-Druck
  - direkte Integration *178*
  - Geschäftsmodelle in der Lebensmittelbranche *118*
  - Geschäftsmodelle in der Logistik *114*
  - Geschäftsmodelle in der Medizin *116*
  - Geschäftsmodelle in der Medizintechnik *116*
  - indirekte Integration *179*
  - kommerzielle Potenziale *97*
  - Kostenbeispiele *123*
  - Kostenkalkulation *118*
  - neue Geschäftsmodelle *113*
  - ökologische Aspekte *141*
  - ökologische Potenziale *141*
  - ökonomische Aspekte *97*
  - ökonomische Potenziale *97*
  - strategische Integration *173*
- 3D-Druck-Materialien
  - Beton *54*
  - Holz *55*
  - keramische Werkstoffe *54*
  - Lebzellen *56*
  - Lebensmittel *56*
  - Metalle *53*
  - Mörtel *54*
  - Papier *55*
  - Polymere *51*
  - Wachs *55*
- 3D-Druck-Prozesskette *61*
  - Digitalisierung *81*

## A

- ADAM *20*
- Adhesive Joining (AJ) *40*
- AJ *40*
- AMF-Format *65*
- Anisotropie *67*
- Atomic Diffusion Additive Manufacturing (ADAM) *20*

## B

- Binder Jetting *30*
- Binder Jetting Technology (BJT) *37*
  - Multi Step (BJT-MSt) *38*
  - Single Step (BJT-SSt) *38*
- BJT *37*
- BJT-MSt *38*
- BJT-SSt *38*
- bonding agent *38*
- Braunling *19*
- Brim *17*

## C

- CFF *15*
- Chemical Reaction Bond (CRB) *18, 29*
- CJ *38*
- CNC *23, 28, 43*
- Coldspray *23, 26*
- ColorJet-Verfahren (CJ) *38*
- Complexity for Free *103*
- Continuous Filament Fabrication (CFF) *15*
- CRB *18, 29*

**D**

Datenvorbereitung 62  
 DED 22  
 DED-SSI 26  
 digitale Ersatzteillager 146  
 Digitaler Schatten 82  
 Digitaler Zwilling 82  
 – Mehrwert 86  
 Digitales Modell 82  
 Digital Light Processing (DLP) 46  
 Directed Energy Deposition (DED) 22  
 – mit Drahtmaterial 23  
 – mit Pulverstrahl 24  
 Direct Metal Deposition (DMD) 22  
 DLP 46  
 DMD 22  
 Druckprozess 9

**E**

EB 35  
 EBM 35  
 Eigenspannungen 69  
 Electron Beam Melting (EBM) 35

**F**

Faserverstärkung 20  
 FDM 15  
 FFF 15  
 Fiber 20  
 Filament 15  
 fill patterns 17  
 Formoptimierung 127  
 Füllmuster 100  
 Fused Deposition Modeling (FDM) 15  
 Fused Filament Fabrication (FFF) 15

**G**

Geschäftsmodelle  
 – in der Lebensmittelbranche 118  
 – in der Logistik 114  
 – in der Medizin 116

– in der Medizintechnik 116  
 – neue 113  
 Grünling 19

**H**

High-Speed Sintering (HSS) 36  
 HSS 36

**I**

Icons 10  
 Idealisierung 9  
 – Darstellungsschema 9  
 IGES-Format 66  
 Individualisierung 97, 98  
 Infra Red Light 36  
 „In-Gas“-Druckverfahren 13  
 In Jelly Drop on Demand Deposition  
 (JDD) 48  
 „In-Liquid“-Druckverfahren 43  
 In-Prozess 9, 72  
 „In-Solid“-Druckverfahren 32  
 Integration  
 – direkte 178  
 – indirekte 179  
 – strategische 173  
 IrL 36

**J**

JDD 48

**K**

kommerzielle Potenziale des  
 3D-Drucks 97  
 Kostenbeispiele für den 3D-Druck 123  
 Kostenkalkulation für den 3D-Druck 118

**L**

LAM 28  
 Laminated Object Manufacturing (LOM) 40  
 Laser Metal Deposition (LMD) 22

Laser Sintering 32  
 Layer Laminated Manufacturing (LLM) 40  
 LB 32  
 LCD 46  
 LDM 18  
 Lebenszyklus-Sachbilanz 149  
 Lebenszyklus-Wirkungsabschätzung 151  
 LED 46  
 Lieferkettenunterbrechungen 107  
 Life Cycle Assessment 146  
 – Definition des Ziels und Untersuchungsumfangs 148  
 – Interpretation 153  
 – Lebenszyklus-Sachbilanz 149  
 – Lebenszyklus-Wirkungsabschätzung 151  
 Light Emitting Diodes (LED) 46  
 Liquid Additive Manufacturing (LAM) 28  
 Liquid Crystal Display-Verfahren (LCD) 46  
 Liquid Deposition Modeling (LDM) 18  
 LLM 40  
 LMD 22  
 LOM 40

## M

Make or Buy 122  
 Materialeinsparung 146  
 Material Extrusion (MEX) 14, 100  
 – Chemical Reaction Bond 18  
 – mit Faserverstärkung 20  
 – mit thermischer Nachbehandlung 19  
 – Thermal Reaction Bond 15  
 Materialien 9  
 Material Jetting (MJT)  
 – Chemical Reaction Bond 29  
 – Thermal Reaction Bond 29  
 – Ultra Violett Curing 29  
 Material Jetting Technology (MJT) 28  
 Medium 9  
 MEX 14, 100  
 MEX-CRB 18  
 MEX-\*-Fiber 20

MEX-\*-Heat 19  
 MEX-TRB 15  
 MJ 28  
 MJF 36  
 MJM 30  
 MJT 28  
 MJT-CRB 29  
 MJT-TRB 29  
 MJT-UV 29  
 MSt 38  
 Multi Jet Fusion (MJT) 36  
 MultiJet Modeling (MJM) 30  
 Multi Jetting (MJ) 28, 30

## N

Nesting 70, 133

## O

ökologische Aspekte des 3D-Drucks 141  
 ökonomische Aspekte des 3D-Drucks 97

## P

PBF 32, 101  
 PBF-EB 35  
 PBF-IrL 36  
 PBF-LB 32  
 PJ 28  
 PJM 28  
 Polygonisierung 63  
 PolyJet Modeling (PJM) 28  
 Poly Jetting (PJ) 28, 30  
 Post-Prozess 9, 74  
 Powder Bed Fusion (PBF) 32, 101  
 – Electron Beam 35  
 – Infra Red Light 36  
 – Laser Beam 32  
 Pre-Prozess 66  
 Print on Demand 112  
 Pulverstrahl 24

**Q**

Qualitätssicherung 76

**R**

Raft 16  
 Rapid Manufacturing 178  
 Rapid Prototyping 178  
 Recycling 146  
 Resilienz in Lieferketten 98, 107  
 Ressourceneffizienz 98  
 Reverse Engineering 62

**S**

SDL 40  
 Selective Deposition Lamination (SDL) 40  
 Selective Laser Melting (SLM) 33  
 Sheet Lamination (SHL) 40  
 – Adhesive Joining 40  
 – Ultrasonic Consolidation 43  
 SHL 40  
 SHL-AJ 40  
 SHL-UC 43  
 SLA 44  
 Slicing 71  
 SLM 33  
 SPD 26  
 SSI 26  
 SSt 38  
 STEP-Format 66  
 Stereolithographie (SLA) 44  
 STL-Format 63  
 Super Sonic Particle Deposition (SPD) 26  
 super sonic speed impact 26  
 support 16, 35, 45  
 Supportstrukturen 69

**T**

Thermal Reaction Bond (TRB) 15, 29  
 Total Cost of Ownership 90

TRB 15, 29  
 Treppenstufeneffekt 67

**U**

UAM 40  
 UC 43  
 Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) 40  
 Ultrasonic Consolidation (UC) 43  
 Ultra Sonic Welding (USW) 43  
 Ultra Violett Curing 29  
 Ultra Violett Masking (UVM) 46  
 Umweltbewusstsein 98  
 USW 43  
 UV 29  
 UVL 44  
 UVM 46

**V**

Vat Photopolymerization (VPP) 43, 101  
 – mit LED 46  
 – mit Maske 46  
 – mit UV-Laser 44  
 – thermische Nachbehandlung 47  
 Verfahrensarten 8  
 Verfahrensfamilien 8  
 Verfahrensklassen 7  
 Verfahrensunterfamilien 8  
 Verlängerung von Produktlebenszyklen 146  
 Verringerung des Materialausschusses 146  
 verwendungsortnahe Produktion 108, 146  
 VPP 43, 101  
 VPP-\*-Heat 47  
 VPP-LED 46  
 VPP-UVL 44  
 VPP-UVM 46

**W**

WAAM 22  
 Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) 22