

Oliver Kunze · Johannes Schilp
Fabian Frommer · Fabio Oetti
Galiya Klinkova

3D-Druck für Führungskräfte

Technik, Prozesse, Wirtschaftlichkeit und
Umweltverträglichkeit der additiven Fertigung



HANSER

Kunze/Schilp/Frommer/Oettl/Klinkova
3D-Druck für Führungskräfte



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Oliver Kunze
Johannes Schilp
Fabian Frommer
Fabio Oettl
Galiya Klinkova

3D-Druck für Führungskräfte

Technik, Prozesse, Wirtschaftlichkeit und Umwelt-
verträglichkeit der additiven Fertigung

HANSER

Die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Oliver Kunze, Institut für Logistik, Risiko- und Ressourcenmanagement (ILR) der Hochschule Neu-Ulm

Prof. Dr.-Ing. Johannes Schilp, Lehrstuhl für Produktionsinformatik der Universität Augsburg

Fabian Frommer, ehemals Institut für Logistik, Risiko- und Ressourcenmanagement (ILR) der Hochschule Neu-Ulm

Fabio Oettl, ehemals Lehrstuhl für Produktionsinformatik der Universität Augsburg

Dr. Galiya Klinkova, Institut für Logistik, Risiko- und Ressourcenmanagement (ILR) der Hochschule Neu-Ulm

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2023 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Melanie Zinsler

Titelmotiv: © stock.adobe.com/3DConcepts und nordroden

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: le-tex publishing Services, Leipzig

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

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

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

Inhalt

1	Einführung	1
TEIL A	Technologie	5
2	Kategorisierung der 3D-Druckverfahren	7
2.1	Verfahrensklassen, -familien und -arten	7
2.2	Verfahrenstaxonomie	8
2.3	Grafische Idealisierung	9
3	Technologische Übersicht der 3D-Druckverfahren	13
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

4	Verfügbare Materialien für den 3D-Druck	51
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
TEIL B	Prozesse & IT	59
5	Die 3D-Druck-Prozesskette	61
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
6	Digitalisierung der 3D-Druck-Prozesskette	81
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
TEIL C	Ökonomie	95
7	Ökonomische Aspekte des 3D-Drucks	97
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
TEIL D	Ökologie.....	139
8	Ökologische Aspekte des 3D-Drucks	141
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
TEIL E	Integration.....	171
9	Integration von 3D-Druck ins Unternehmen	173
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
	Glossar	189
	Index	193

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) Begriffen¹ 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.

¹ 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 II² 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)

² 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-Druckverfahren¹ 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, Lagen²) unterscheiden.

¹ Auch additive Fertigungsverfahren genannt (engl. *Additive Manufacturing*, AM)

² 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 herstellerepezifische 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.

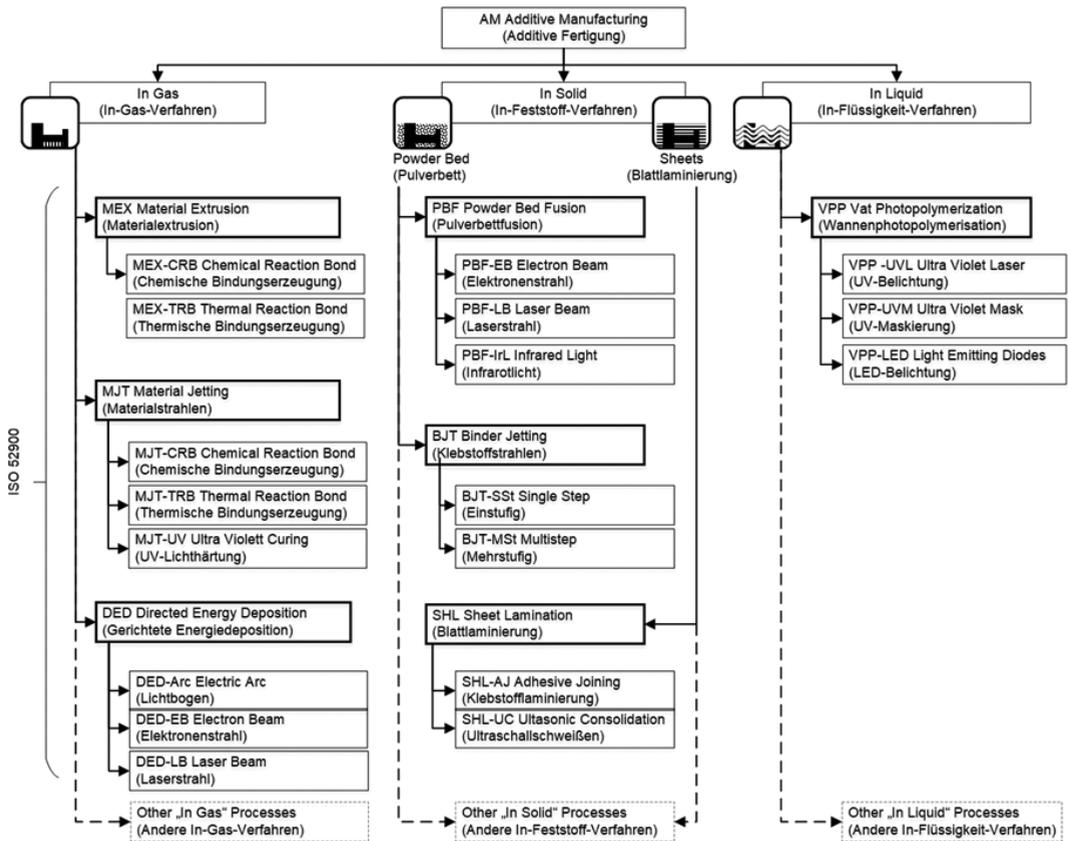


Bild 2.1 Verfahrenstaxonomie

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.