

3-D-Druck: Praxisgrundlagen zu Produktsicherheit und Rechtsrahmen

baua: Bericht

**Forschung
Projekt F 2389**

M. Schmauder
K. Höhn
I.-L. Hilgers
B. Meyer
S. Schreiber

**3-D-Druck:
Praxisgrundlagen zu
Produktsicherheit und Rechtsrahmen**

2., korrigierte Auflage 2019
Dortmund/Berlin/Dresden

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt F 2389 „3-D-Druck – Werden Verwender zu Herstellern? Stand und Zukunft der additiven Fertigung und deren Auswirkungen auf Produktsicherheit und Arbeitsbedingungen“ im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Autorinnen/Autoren: Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Dr.-Ing. Katrin Höhn
Dipl.-Ing. Inga-Lisa Hilgers
GWT-TUD GmbH, World Trade Center Dresden
Freiberger Straße 33, 01067 Dresden
RA Burkhard Meyer
RA Stephan Schreiber
Rischbieter Meyer Schreiber Rechtsanwälte Partnerschaft
Am Wall 137-139, 28195 Bremen

Fachliche Beratung: Dr.-Ing. Tobias Bleyer
Peter Wanders
Marie Pendzich
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Uwe Völkner/Fotoagentur FOX, Lindlar

Umschlaggestaltung: Vanessa Seeger
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon 0231 9071-2071
Telefax 0231 9071-2070
E-Mail info-zentrum@buaa.bund.de
Internet www.buaa.de

Berlin: Nöldnerstraße 40 – 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Telefax 030 51548-4170

Dresden: Fabricestraße 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Telefax 0351 5639-5210

Die Inhalte der Publikation wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.



doi:10.21934/buaa:bericht20181106 (online)

www.buaa.de/dok/8806054

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	7
Abstract	8
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangssituation	9
1.2 Ziel des Projektes	9
1.3 Arbeitspakete	10
2 Additive Fertigungsverfahren (AP 1)	12
2.1 Grundprinzip der additiven Fertigung	13
2.2 Maschinentypen für die additive Fertigung	14
2.3 Übersicht zu gängigen additiven Fertigungsverfahren	16
2.3.1 Wannenbasierte Photopolymerisation (vat photopolymerization)	18
2.3.2 Werkstoffextrusion (material extrusion)	23
2.3.3 Werkstoffauftrag (material jetting)	25
2.3.4 Bindemittelauftrag (binder jetting)	28
2.3.5 Pulverbettbasiertes Schmelzen (powder bed fusion)	30
2.3.6 Schichtlaminiierung (sheet lamination)	37
2.3.7 Gerichtete Energieeinbringung (directed energy deposition)	39
2.3.8 Zusammenfassung der einzelnen additiven Fertigungsverfahren	41
2.4 Industrieanwendungen	41
2.5 Zu erwartende Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung	42
3 Szenarien und Probleme beim 3-D-Druck (AP 2)	44
3.1 Szenarien und Problemfelder aus Verbrauchersicht	44
3.2 Szenarien und Problemfelder aus Sicht der Marktüberwachung	46
3.3 Szenarien und Problemfelder aus Sicht der Hersteller	49

3.4	Expertenbefragung	50
4	Ableitung rechtlicher Anforderungen (AP 3)	51
4.1	Überblick zu den sicherheitsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für Hersteller, Einführer, Händler, Aussteller und sonstige an der Bereitstellung von 3-D-Druck-Technologie beteiligten Personen	51
4.1.1	Anwendbarkeit des ProdSG	51
4.1.2	Bereitstellung im Rahmen einer Geschäftstätigkeit i.S.d. ProdSG	52
4.1.3	Wirtschaftsakteure gemäß ProdSG	53
4.1.4	Allgemeine Anforderungen gemäß § 3 ProdSG	54
4.1.5	§ 3 Abs. 1 ProdSG Vorrang der spezialgesetzlichen Verordnungen gemäß § 8 ProdSG ↔ Maschinenrichtlinie 2006/42 EG (9. ProdSV)	55
4.1.6	Besondere Anforderungen und Pflichten bei Verbraucherprodukten gem. § 6 ProdSG	58
4.1.7	Druckvorlagen, Software, Scans, Filamente ↔ Anforderungen gemäß ProdSG und Spezialgesetzen bzw. Verordnungen zum ProdSG	59
4.1.8	Weitere ggf. bei der Herstellung von 3-D-Drucktechnik für den EWR anwendbare Spezialgesetze (CE-Richtlinien etc.)	59
4.1.9	Adressaten für behördliche Marktüberwachungsmaßnahmen	60
4.2	Überblick zu den sicherheits-/ ordnungsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für Hersteller, Einführer, Händler, Aussteller und sonstige an der Bereitstellung von mittels 3-D-Druck-Technologie hergestellten Produkten Beteiligte	61
4.2.1	Anwendbarkeit des ProdSG	61
4.2.2	Bereitstellung im Rahmen einer Geschäftstätigkeit i.S.d. ProdSG	62
4.2.3	Wirtschaftsakteure gemäß ProdSG	62
4.2.4	Allgemeine Anforderungen gemäß § 3 ProdSG	62
4.2.5	§ 3 Abs. 1 ProdSG Vorrang der spezialgesetzlichen Verordnungen gemäß § 8 ProdSG	62
4.2.6	Besondere Anforderungen und Pflichten bei Verbraucherprodukten gem. § 6 ProdSG	63

4.2.7	Adressaten für behördliche Marktüberwachungsmaßnahmen	64
4.3	Produkthaftungsrecht	64
4.3.1	Vertragliche und gesetzliche Haftungstatbestände	65
4.3.2	Ausgewählte typische rechtliche Risiken für Verbraucher, d. h. für Verwender von 3-D-Druckern	66
4.3.3	Auszug von Rechtsbereichen im engen Zusammenhang mit dem 3-D-Druck	66
4.4	Anwendung der Vorschriften im Rahmen von Beispiel-Szenarien	67
4.4.1	Szenario 1	67
4.4.2	Szenario 2	70
4.4.3	Szenario 3	73
4.4.4	Szenario 4	74
4.4.5	Szenario 5	77
5	Neue Risiken beim 3-D-Druck (AP 4)	80
6	Informationserfordernisse für Marktaufsichtsbehörden (AP 5) und Workshop (AP 6)	82
7	Inhalte für Informationsschriften (AP 7)	85
8	BAuA-Veranstaltung (AP 8)	86
9	Zusammenfassung	88
	Literaturverzeichnis	91
	Abbildungsverzeichnis	93
	Tabellenverzeichnis	94
	Anhang	95
Anhang 1	Unterteilung der 3-D-Drucker nach Maschinentypen (nach GEBHARDT, 2016)	96
Anhang 2	Systematisierung der additiven Fertigungsverfahren nach Ausgangszustand des Werkstoffs	97
Anhang 3	Schichtbauprinzip der additiven Fertigungsverfahren sowie Anbindung und Entfernung der Stützkonstruktionen (nach BERGER et al., 2017)	98

Anhang 4	Steckbrief Stereolithografie	99
Anhang 5	Steckbrief Digital Light Processing	100
Anhang 6	Steckbrief Fused Layer Modeling	101
Anhang 7	Steckbrief Multi-Jet Modeling	102
Anhang 8	Steckbrief Poly-Jet Modeling	103
Anhang 9	Steckbrief 3-D-Drucken	104
Anhang 10	Steckbrief Laser-Sintern	105
Anhang 11	Steckbrief Laser-Strahlschmelzen	106
Anhang 12	Steckbrief Elektronenstrahlschmelzen	107
Anhang 13	Steckbrief Layer Laminated Manufacturing	108
Anhang 14	Steckbrief Laserauftragsschweißen	109
Anhang 15	Interviewleitfaden für die Befragung von gewerblichen Nutzern additiver Fertigungsverfahren	110
Anhang 16	Risikobeurteilung Wannenbasierte Polymerisation	113
Anhang 17	Risikobeurteilung Werkstoffextrusion	116
Anhang 18	Risikobeurteilung Werkstoffauftrag	119
Anhang 19	Risikobeurteilung Bindemittelauftrag	123
Anhang 20	Risikobeurteilung Pulverbettbasiertes Schmelzen	125
Anhang 21	Risikobeurteilung Schichtlaminierung	130
Anhang 22	Risikobeurteilung Gerichtete Energieeinbringung	133

3-D-Druck: Praxisgrundlagen zu Produktsicherheit und Rechtsrahmen

Kurzreferat

Die Anwendung von 3-D-Druckern für die Erstellung dreidimensionaler Produkte (additive Fertigung) hat sich in den letzten Jahren stark verbreitet und weiterentwickelt. 3-D-Drucker werden sowohl im gewerblichen als auch im privaten Bereich genutzt. Dabei kommen immer neue Materialien zum Einsatz, Produktarten und Einsatzszenarien verändern sich. Der sichere Einsatz der 3-D-Drucker und die Erzeugung sicherer Produkte müssen mit dieser Entwicklung einhergehen. Momentan gibt es allerdings für die Akteure im Zusammenhang mit dem 3-D-Druck keine ausreichenden Informationen, die sowohl wirtschaftliche, technische, rechtliche und Aspekte der Sicherheit berücksichtigen. Als Akteure werden in diesem Zusammenhang die privaten und professionellen Betreiber von 3-D-Druckern und damit Erzeuger von Produkten gesehen, aber auch solche, die Berührungspunkte zur Thematik haben, im speziellen die Marktüberwachungsbehörden.

Im vorliegenden Forschungsbericht werden derzeitige aktuelle additive Fertigungsverfahren vorgestellt und im Anschluss daran kategorisiert und näher erläutert. Die wichtigsten Informationen sind in Steckbriefen übersichtlich auf jeweils einer Seite zusammengefasst.

Der Einsatz dieser additiven Fertigungsverfahren kann sowohl im privaten als auch im gewerblichen Bereich zu neuen Szenarien mit Problemen führen, die einer rechtlichen Betrachtung bedürfen. Daher werden potenzielle Szenarien und Fragestellungen aus Sicht von Verwendern von 3-D-Druckern, aus Sicht der Hersteller von 3-D-Druckern und aus Sicht der Marktüberwachung aufgezeigt. Neue Risiken beim 3-D-Druck werden beschrieben.

Rechtliche Anforderungen im Zusammenhang mit der Anwendung von 3-D-Druckern werden zusammengestellt. Zunächst wird ein Überblick zu den sicherheitsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für die 3-D-Drucktechnologie gegeben. Es folgt ein Überblick zu den ordnungsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für die mittels 3-D-Druck hergestellten Produkte. Produkthaftungsrechtliche Anforderungen werden aufgezeigt. Und schließlich werden die aufgeführten Szenarien aufgegriffen und es wird jeweils dargelegt, welche rechtlichen Anforderungen bestehen und inwiefern die Verwender von 3-D-Druckern zu Herstellern im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes werden können.

Um diese Informationen zielgruppenspezifisch zur Verfügung stellen zu können, wurden drei Informationsschriften erstellt, welche bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erhältlich sind.

Schlagwörter:

3-D-Druck, additive Fertigung, Produktsicherheit, Produkthaftung

3D printing: Practical principles on product safety and regulatory framework

Abstract

The use of 3D printers for creating three-dimensional products (additive manufacturing) has become widespread and evolving in recent years. 3D printers are used both, commercially and privately. At the same time new materials are in use, product types and application scenarios are changing. This development must be accompanied by the safe use of 3D printers and the production of safe products. At the moment, however, there is insufficient information that takes into account economic, technical, legal and security aspects for the participants involved in 3D printing. The participants involved in this context are the private and professional operators of 3D printers and thus producers of products, but also those who have points of contact on the subject, in particular the market surveillance authorities.

This research report presents current additive manufacturing processes and then categorizes and explains them in more detail. The most important information is summarized in profiles on one page.

The use of these additive manufacturing processes can lead to new scenarios with problems that require legal consideration, both in the private and the commercial sector. Therefore, potential scenarios and issues are presented from the point of view of users of 3D printers, manufacturers of 3D printers, and market surveillance. New risks associated with 3D printing are described.

Legal requirements related to the use of 3D printers are compiled. First, an overview of the safety regulations and requirements for the 3D printing technology is given. The following is an overview of the regulatory requirements and prerequisites for the products produced by means of 3D printing. Product liability requirements are shown. Finally, the listed scenarios are discussed and it is explained which legal requirements exist and to what extent the users of 3D printers can become manufacturers within the meaning of the Product Safety Act.

In order to provide this information in a target-group-specific manner, three information booklets have been compiled. The information booklets are available from the Federal Institute for Occupational Safety and Health.

Key words:

3D printer, additive manufacturing, product safety, product liability

1 Einleitung

Dieser Bericht dokumentiert die im Vorhaben F 2389 „3-D-Druck – Werden Verwender zu Herstellern? Stand und Zukunft der additiven Fertigung und deren Auswirkungen auf Produktsicherheit und Arbeitsbedingungen“ geleisteten Forschungsarbeiten. Die Bearbeitung erfolgte vom 16. März 2017 bis zum 30. April 2018 unter fachlicher Begleitung durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

1.1 Ausgangssituation

Die Anwendung von 3-D-Druckern für die Erstellung dreidimensionaler Produkte (additive Fertigung) in verschiedenen Anwendungszusammenhängen hat sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt. Dies betrifft sowohl die verwendeten Materialien (z. B. unterschiedliche Metalle, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe), die Produktarten als auch die Einsatzszenarien (z. B. Trennung der Rechtsinhaber von Soft- und Hardware, Vermietung von 3-D-Druckern, Aufstellung im öffentlichen Raum usw.). Additive Fertigungsverfahren im industriellen Umfeld mit Kunststoffen und Metallen als Werkstoff sind mittlerweile Stand der Technik. Keramiken und andere Werkstoffe können ebenfalls additiv verarbeitet werden, doch ist deren Bedeutung für die industrielle Produktion derzeit noch verhältnismäßig gering.

Darüber hinaus finden additive Fertigungsverfahren mittlerweile nicht mehr nur im gewerblichen, sondern auch im privaten Bereich Anwendung. Es ist zu erwarten, dass sich diese Entwicklung mit der Weiterentwicklung additiver Fertigungsverfahren fortsetzt.

Der sichere Einsatz der 3-D-Drucker und die Erzeugung sicherer Produkte müssen mit dieser Entwicklung mithalten. Momentan gibt es für die Akteure im Zusammenhang mit dem 3-D-Druck keine ausreichenden Informationen, die sowohl wirtschaftliche, technische, rechtliche und Aspekte der Sicherheit berücksichtigen. Problematisch im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Einsatzszenarien scheinen Fragen des Urheber- und Haftungsrechtes zu sein, ebenso wie Fragen der Produktsicherheit (Wer ist Hersteller? Wer ist Betreiber?). Auch die Fragen neuer Risiken stellen sich an dieser Stelle (Wie ist der Stand der Normung? Existieren bereits Risikobetrachtungen?).

Als Akteure wurden in diesem Zusammenhang nicht nur die privaten und professionellen Betreiber von 3-D-Druckern und damit Erzeuger von Produkten gesehen, sondern auch solche, die Berührungspunkte zur Thematik haben, im speziellen die Marktüberwachungsbehörden.

1.2 Ziel des Projektes

Auf der Basis derzeitiger und ggf. abzusehender künftiger Technologien im Bereich der additiven Fertigung galt es, typische Verwender-Hersteller-Szenarien zu erfassen. Für diese Technologien und Szenarien erfolgte im Anschluss die Ermittlung rechtlicher Anforderungen aus unterschiedlichen Rechtskontexten, wie dem Produktsicherheitsrecht, dem Urheberrecht und dem Haftungsrecht. Aus diesen Erkenntnissen wurden Probleme und Lösungsansätze speziell für die Marktüberwachungsbehörden identifiziert. Gleichzeitig wurden Risiken von 3-D-Druckern hinsichtlich des

Betriebens ermittelt und weiterer Forschungsbedarf an dieser Stelle aufgezeigt. Im Ergebnis der Untersuchungen stand die Zusammenstellung von Inhalten für Informationsschriften. Hierbei waren allgemeingültige Inhalte von solchen zu unterscheiden, die spezifische Informationen für die einzelnen Akteure enthalten.

1.3 Arbeitspakete

Zur Erreichung des Projektzieles wurden die folgenden Arbeitspakete (AP) bearbeitet:

Arbeitspaket 1: Erfassung additiver Fertigungsverfahren (3-D-Druck)

Im ersten Arbeitsschritt erfolgte eine Erfassung derzeitiger und zeitnah zu erwartender Technologien beim 3-D-Druck sowie eine systematische Aufbereitung der additiven Fertigungstechnologien und deren Rahmenbedingungen unter Entwicklung einer Erfassungssystematik.

Arbeitspaket 2: Szenarien und Probleme beim 3-D-Druck

In Anschluss an die erfassten Technologien wurden in einem zweiten Schritt typische Szenarien (Verwender-Hersteller-Konstellationen) und die damit zusammenhängenden Probleme und ggf. derzeitige Lösungsansätze zusammengestellt.

Arbeitspaket 3: Rechtliche Anforderungen

Im anschließenden Arbeitsschritt erfolgten eine Differenzierung und Skizzierung der rechtlichen Anforderungen unter besonderer Berücksichtigung einzelner unterschiedlicher schwerpunktmäßig zu betrachtender Rechtsgebiete. Unter Berücksichtigung der in den Arbeitspaketen 1 und 2 erfassten Technologien, der dabei verwendeten Drucker, den dabei entstehenden Daten und Produkten wurde ein Überblick mit einer Betrachtung typischer Szenarien und Problemstellungen aus rechtlicher Sicht – unter Berücksichtigung der aktuellen Rechtslage und Rechtsprechung erarbeitet. Professionelle und private Verwender wurden dabei im Rahmen der systematischen Zusammenstellung der Erkenntnisse berücksichtigt.

Arbeitspaket 4: Neue Risiken beim 3-D-Druck

Im Anschluss daran erfolgte eine Ermittlung neuer Risiken von 3-D-Druckern unter Beachtung der in Arbeitspaket 1 ermittelten Technologien und der unter Arbeitspaket 2 ermittelten Konstellationen unter Einbeziehung von Anforderungen aus dem Vorschriften- und Regelwerk (Arbeitspaket 3).

Hierbei ging es darum, sicherheitstechnische Aspekte, die aus dem Betrieb der 3-D-Drucker resultieren zu erfassen und zu bewerten (z. B. Betrieb von Laseranlagen, Umgang mit technischen Gasen und gefährlichen Materialien).

Arbeitspaket 5: Informationserfordernisse für Marktaufsichtsbehörden u. a.

Aus den in den vorangegangenen Arbeitspaketen zusammengetragenen Informationen wurden Erkenntnissen für die Marktaufsichtsbehörden bzw. staatlichen Arbeitsschutzbehörden abgeleitet. Leitfragen hierzu waren:

- Woraus ergeben sich für deren Kontroll- und Überwachungsaufgaben und zu erwartende Herausforderungen in der Arbeit in der Praxis mögliche Problemfelder? Können dazu bereits ansatzweise Lösungen skizziert werden?
- Welche Informationen benötigen diese Akteure zur Erfüllung ihrer Aufgaben in diesem Themenbereich?

Arbeitspaket 6: Workshop

Unter Nutzung der Ergebnisse des Arbeitspaketes 5 erfolgte die Durchführung eines Workshops. Dessen Teilnehmerkreis setzte sich aus Vertretern der Auftraggeberin, den Forschungsnehmern sowie beauftragten Unterauftragnehmern zusammen. Darüber hinaus wurden weitere Teilnehmer hinzugezogen. Dies betrifft insbesondere solche Personen und Institutionen, die sich in den letzten Jahren mit der Thematik der additiven Fertigung beschäftigt haben.

Arbeitspaket 7: Inhalte für Informationsschriften

Im Anschluss an den Workshop erfolgte eine Zusammenstellung und Aufbereitung der Inhalte für zielgruppenbezogene Informationsschriften für:

- Verwender von 3-D-Druckern,
- Marktaufsichtsbehörden,
- Wirtschaftsakteure.

Aus den Materialzusammenstellungen soll die BAuA öffentlichkeitswirksame Informationsschriften erarbeiten können.

Arbeitspaket 8: BAuA-Veranstaltung

Als Abschluss wurde ein gemeinsamer Workshop im Rahmen einer BAuA-Veranstaltung im März 2018 durchgeführt (12./13.03.2018).

2 Additive Fertigungsverfahren (AP 1)

Der Begriff „additive Fertigung“ steht für Prozesse, bei denen ein Bauteil schichtweise durch das Hinzufügen von Werkstoff aufgebaut wird. Dies steht im Gegensatz zu subtraktiven und formativen Fertigungsverfahren, bei welchen durch Werkstoffsubtraktion bzw. durch Verformen eines vorhandenen Volumens das Bauteil entsteht (BERGER et al., 2017). Die additiven Fertigungsverfahren ermöglichen das Herstellen komplexer Bauteilstrukturen, welche mit traditionellen Fertigungsverfahren gar nicht oder nur unter erhöhtem Aufwand hergestellt werden können. Grundlage hierfür ist das Schichtbauprinzip, welches davon ausgeht, dass theoretisch alle Körper in Scheiben geschnitten und aus diesen Scheiben aufgebaut werden können (GEBHARDT, 2016). Daraus ergeben sich sogenannte Treppenstufeneffekte (vgl. **Abb. 2.1**), welche eine Charakteristik der additiven Fertigungsverfahren darstellen. Sie können durch eine Verringerung der Schichtdicke reduziert, aber nicht vollkommen vermieden werden. Aktuell betragen die Schichtstärken ca. 0,1 mm bis 0,05 mm und minimal 0,016 mm bei Maschinen für makroskopische Bauteile. Die sogenannten Fabber arbeiten im Schnitt mit Schichtstärken um 0,2 mm (GEBHARDT 2016).



Abb. 2.1 Treppenstufeneffekt bei einer Schichtdicke von 0,2 mm

Die Anwendung additiver Fertigungsverfahren kann allgemein unterschieden werden in Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Rapid Manufacturing. Die Anwendung der additiven Fertigungsverfahren zu Zwecken des Rapid Prototyping dient der Herstellung von Modellen und Prototypen, welche noch nicht über einen Produktcharakter verfügen. Sie weisen die für das später einzusetzende Produkt wichtigsten Eigenschaften auf, verfügen aber ansonsten über ein hohes Abstraktionsniveau. Die schnelle und einfache Herstellung von Modellen zur frühzeitigen Absicherung bestimmter Produkteigenschaften ist das Ziel (GEBHARDT, 2016). Die Anwendung der additiven Fertigungsverfahren zu Zwecken des Rapid Tooling unterstützt die schnelle Herstellung von Werkzeugen auf direkte (Werkzeugkomponenten) oder indirekte (Urmodelle) Weise. Rapid Manufacturing dient der Herstellung von Endprodukten, welche über Serieneigenschaften verfügen.

Nach VDI-Richtlinie 3405 (2014) bezeichnet der Term 3-D-Drucken eine spezielle Verfahrensweise der additiven Fertigung (s. Abschnitt 2.1.6). Im umgangssprachlichen Gebrauch und häufig auch in den Medien wird der Begriff jedoch synonym für

die additiven Fertigungsverfahren verwendet (WOHLERS, 2016). Es kann davon ausgegangen werden, dass in wenigen Jahren der Begriff 3-D-Drucken als generische Bezeichnung für die additiven Fertigungsverfahren akzeptiert sein wird (GEBHARDT, 2016).

In Arbeitspaket 1 wurden die gängigsten Verfahren der additiven Fertigung erfasst und systematisch aufbereitet. Dazu wird im nachfolgenden Kapitel zunächst das verfahrensunabhängige Grundprinzip der additiven Fertigung vorgestellt und im Anschluss daran werden die verschiedenen Verfahren kategorisiert und näher erläutert.

2.1 Grundprinzip der additiven Fertigung

Nach LACHMAYER et al. (2016) kann ein allgemeingültiges Vorgehensmodell für die additive Fertigung in die vier Phasen Pre-Prozess, In-Prozess, Post-Prozess und Applikation unterteilt werden. Eine ähnliche Unterteilung in Datenvorbereitung, Druckprozess und Nachbearbeitung findet sich bei HAGL (2015), GEBHARDT (2016), ACATECH (2016) und BERGER et al. (2017). Der Pre-Prozess, in dem die Daten für die additive Fertigung vorbereitet werden, ist weitestgehend für alle Verfahren von Heim- bis zur industriellen Anwendung identisch (LACHMAYER et al., 2016). In **Abb. 2.2** sind die vier Phasen und ihre typischen Bestandteile aufgezeigt.

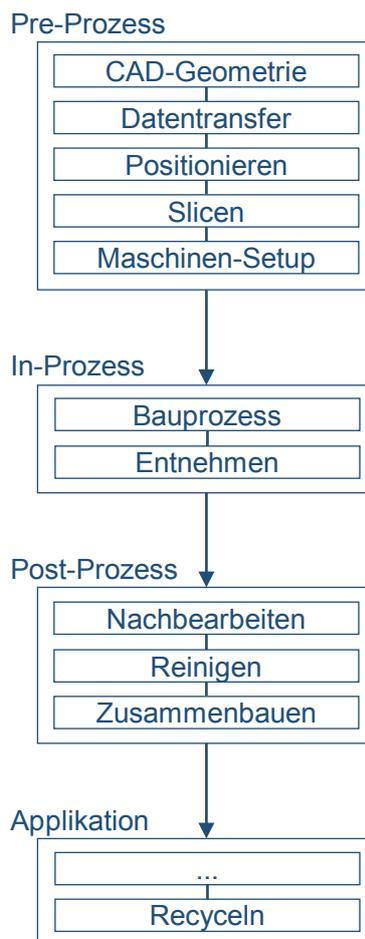


Abb. 2.2 Die vier Phasen der additiven Fertigung nach LACHMAYER et al. (2016)

Im ersten Schritt des Pre-Prozesses muss die CAD-Geometrie des 3-D-Bauteils vorliegen. Diese wird z. B. mittels Konstruktionsprogramm oder durch 3-D-Scans (Reverse Engineering) erzeugt. Entscheidend ist hierbei, dass die Geometrie des Bauteils als geschlossener Volumenkörper vorliegt. Aus dieser CAD-Datei wird anschließend ein für die additive Fertigung geeignetes Datenformat generiert. Üblicherweise wird hierfür das „Additive Manufacturing File Format“ (AMF)¹ oder die ältere „Standard Triangulation Language“ (STL) verwendet. Beide Formate beschreiben die Oberfläche von dreidimensionalen Körpern anhand eines Netzes aus Dreiecksfacetten (LACHMAYER et al., 2016). Alle auf dem Markt befindlichen Maschinen können mit diesen Formaten angesteuert werden (GEBHARDT, 2016). Die STL- bzw. AMF-Datei wird nachfolgend an die Software, welche den Fertigungsprozess der Maschine steuert, übermittelt. In den nächsten Schritten wird das zu fertigende Bauteil virtuell im Bauraum der Maschine positioniert, in Schichten zerlegt (sogenanntes Slicen) und, sofern für den Bauprozess notwendig, werden Stützstrukturen berechnet und eingefügt. Abschließend wird das Maschinen-Setup vorgenommen. Hier werden die Maschinenparameter eingestellt und sofern nötig finale Berechnungen vorgenommen. In Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad der Maschine werden zuvor genannte Schritte automatisch durchgeführt (LACHMAYER et al., 2016).

Der In-Prozess stellt den eigentlich Bauprozess dar. Hierzu zählen die Vorbereitung der Maschine für den Fertigungsvorgang (z. B. Bestückung mit Baumaterial), der schichtweise Aufbau des Bauteils und die Entnahme des gefertigten Bauteils. Die Funktionsweise des schichtweisen Aufbaus unterscheidet sich je nach Verfahren (LACHMAYER et al., 2016). Nähere Erläuterungen zu den verschiedenen Verfahrensweisen finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

Im Post-Prozess wird das gefertigte Bauteil fertiggestellt. Das Bauteil wird gereinigt und von ggf. vorhandenen Stützstrukturen befreit. Anschließend erfolgt, sofern notwendig, eine Nachbearbeitung des Bauteils. Je nach Fertigungsverfahren kann es z. B. notwendig sein das Bauteil nachzuhärten oder zu infiltrieren. Abhängig von der Verwendung des gefertigten Bauteils wird dieses z. B. am Verwendungsort montiert oder mit weiteren Bauteilen assembliert (LACHMAYER et al., 2016).

Das gefertigte und nachbehandelte Bauteil findet in der Applikationsphase seine Anwendung im Nutzungskontext. Nach der Nutzung und eventuellen Instandsetzungen wird es demontiert und recycelt.

2.2 Maschinentypen für die additive Fertigung

Allgemein können die Maschinen für die additive Fertigung in Abhängigkeit von ihrer Anwendung unterteilt werden in: Fabber, Personal 3-D-Drucker, Professional 3-D-Drucker, Production 3-D-Drucker und Industrial 3-D-Drucker (GEBHARDT, 2016) (vgl. Anhang 1).

Sogenannte Fabber werden vorrangig im privaten Bereich, besonders der Maker-Szene, genutzt. In den meisten Fällen handelt es sich um Bausätze aus denen der eigene 3-D-Drucker zusammengebaut wird. Dies ist im Sinne der „Maker“, die ihre

¹ Das AMF ist, wie das STL, ein verfahrensunabhängiges Datenformat das ohne Informationsverlust aus bestehenden STL-Dateien generiert werden kann. In AMF-Dateien können jedoch zusätzlich Materialstrukturen, Farbinformationen, Transparenz und gekrümmte Flächen abgebildet werden.

Ideen oder Problemlösungen nach dem „Do-it-yourself“-Gedanken mit eigenen Mitteln und ohne kostspielige Geräte umsetzen. Über Fabber-Communities wird sich über den Bau und mögliche Modifikationen ausgetauscht und es entstehen neue Kooperationsformen (GEBHARDT 2016). Als Baumaterial finden vorrangig Kunststoffe Verwendung und die erzeugten Objekte können z. B. als Ansichtsmodelle genutzt werden.

Zu den Personal 3-D-Druckern oder auch Desktop Printer genannten Maschinen zählen solche, die für unter 5000 € verkauft werden (BERGER et al., 2017). Sie werden im professionellen und semi-professionellen Bereich eingesetzt und sind für die Erzeugung von Konzeptmodellen, vorrangig aus Kunststoff, geeignet (GEBHARDT, 2016). Durch ihre kompakte Bauform können sie in Büroumgebungen eingesetzt werden. Laut Wohlers Report 2016, einer jährlich erscheinenden Studie zur Entwicklung der additiven Fertigung, ist die geschätzte Zahl der verkauften Fabber und Desktop Printer in den letzten Jahren rapide gestiegen (vgl. **Abb. 2.3**) (WOHLERS, 2016).

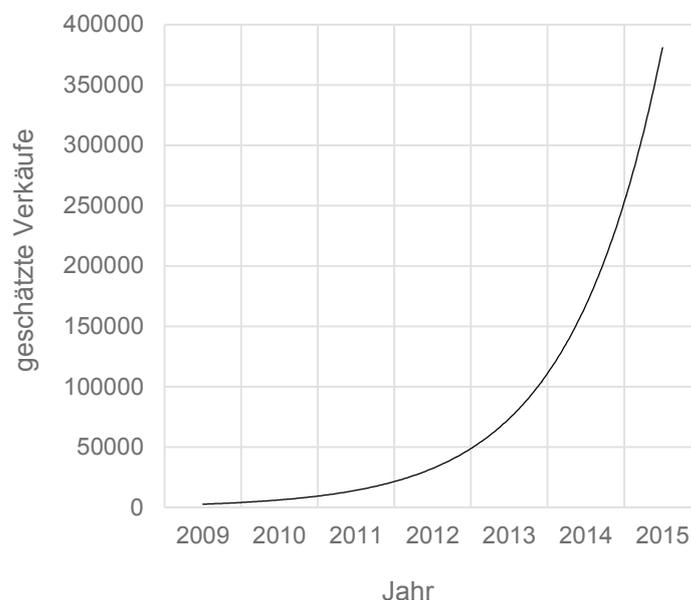


Abb. 2.3 Weltweites Wachstum der Verkäufe von Fabbern und Personal 3-D-Druckern (vgl. WOHLERS, 2016)

Professional 3-D-Drucker sind kompakte und einfach zu bedienende Maschinen, die im Vergleich zu den vorher genannten Systemen über eine höhere Qualität der Anlage und der erzeugten Bauteile verfügen (GEBHARDT, 2016). Die Maschinen werden zur Herstellung von Konzeptmodellen und Funktionsbauteilen aus Kunststoff oder Metall genutzt und werden meist in Büro- oder Werkstattumgebung betrieben.

Production 3-D-Drucker oder auch Produktionsmaschinen genannte additive Fertigungsanlagen haben die Erfüllung hoher Qualitätsansprüche und die Reproduzierbarkeit der Prozesse zum Ziel (GEBHARDT, 2016). Die Maschinen werden professionell in der Produktion betrieben und verfügen über große Bauräume und teilautomatisierte Prozesse. Mit Kunststoff, Metall oder Keramik können im Sinne des Rapid Manufacturing seriennahe Endprodukte erzeugt werden.

Industrial 3-D-Drucker werden als flexible Fertigungssysteme betrieben. Wie die zuvor genannten Produktionsmaschinen erzeugen sie Endprodukte von hoher Qualität. Die Anlagen verfügen über prozessintegrierte Nachbearbeitungsstationen und werden zur additiven Fertigung von Bauteilserien aus Metall eingesetzt (GEBHARDT 2016).

2.3 Übersicht zu gängigen additiven Fertigungsverfahren

In den nachfolgenden Abschnitten werden die gängigen Verfahren der additiven Fertigung vorgestellt. Basis hierfür sind die in der VDI-Richtlinie 3405 als kommerzialisiert ausgewiesenen Verfahren. Diese wurden den Prozesskategorien nach DIN EN ISO/ASTM 52900 zugeordnet. Weiterhin wurden Literaturquellen auf die bedeutendsten bzw. kommerzialisierten Verfahren hin ausgewertet. In der nachfolgenden **Tab. 2.1** sind die Zuordnungen der ausgewiesenen Verfahren zu den jeweiligen Veröffentlichungen aufgezeigt.

Tab. 2.1 Zuordnung der in verschiedenen Veröffentlichungen beschriebenen additiven Fertigungsverfahren

Prozesskategorie nach DIN EN ISO/ASTM 52900	Additives Fertigungsverfahren	VDI-Richtlinie 3405, 2014	FASTERMANN, 2016	GEBHARDT, 2016	ACATECH, 2016	HAGL, 2015	WOHLERS, 2016
Wannenbasierte Polymerisation	Stereolithografie	X	X	X	X	X	X
	Digital Light Processing	X	X	X			X
Werkstoffextrusion	Fused Layer Modeling	X	X	X	X	X	X
Werkstoffauftrag	Multi-Jet Modeling	X	X			X	X
	Poly-Jet Modeling	X	X	X	X	X	X
Bindemittelauftrag	3-D-Drucken	X	X	X	X	X	X
Pulverbettbasiertes Schmelzen	Laser-Sintern	X	X	X	X	X	X
	Laser-Strahlschmelzen	X	X	X	X		X
	Elektronen-Strahlschmelzen	X	X	X	X		X
	Thermotransfer-Sintern	X					
Schichtlaminierung	Layer Laminated Manufacturing	X	X	X	X	X	X
Gerichtete Energieeinbringung	Laserauftragsschweißen		X	X	X	X	X

Das Thermotransfer-Sintern wird bei den in **Tab. 2.1** aufgeführten Quellen lediglich in der VDI-Richtlinie 3405 behandelt. Im Gegensatz dazu wird das Laserauftrags-schweißen in allen der aufgeführten Quellen außer in der VDI-Richtlinie 3405 als additives Fertigungsverfahren benannt. Im weiteren Verlauf wird daher auf das Laserauftrags-schweißen eingegangen, wohingegen das Thermotransfer-Sintern nicht weiter betrachtet wird.

Es ist zudem anzumerken, dass für einige Verfahren z. T. voneinander abweichende Bezeichnungen existieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Firmen ihre Verfahrensbezeichnungen als Markenname eintragen und somit schützen lassen. Für den Überblick werden die verschiedenen Verfahrensbezeichnungen bei der Beschreibung der Verfahren aufgeführt. Standardmäßig wird jedoch die Bezeichnung nach VDI-Richtlinie 3405 verwendet.

Die additiven Fertigungsverfahren können nach ihren Merkmalen systematisiert werden. Neben der in **Tab 2.1** vorgenommenen Einordnung der Verfahren zu den verschiedenen Prozesskategorien nach DIN EN ISO/ASTM 52900 bietet sich eine Einordnung der Verfahren auf Basis des Ausgangszustands (fest oder flüssig) des verwendeten Baumaterials an (vgl. Anhang 2).

Weiterhin wurde eine Einordnung der Verfahren entsprechend des zugrundeliegenden Schichtbauprinzips und der Anbindung und Entfernung von Stützstrukturen vorgenommen (vgl. Anhang 3). Die in Abschnitt 2.1.1 bereits erwähnten Stützstrukturen werden automatisch von der Maschinensoftware erstellt und können vom Bediener bei Bedarf angepasst oder optimiert werden (BERGER et al., 2017). Stützstrukturen verhindern ein Absinken und Verzug des Bauteils im Fertigungsprozess. Hierzu werden sie vorrangig bei Verfahren mit flüssigem oder fließfähigem Ausgangsmaterial verwendet (BERGER et al., 2017). Bei metallpulverbasierten Verfahren wird, um Verzug zu vermeiden, über die Stützstrukturen Wärme in die Bauplattform abgeleitet (BERGER et al., 2017). Generell dienen die Stützen zudem der Verankerung des Bauteils auf der Bauplattform und ermöglichen eine leichtere und verlustfreie Entfernung des Bauteils von der Plattform (vgl. **Abb. 2.4**).



Abb. 2.4 Mittels Stützstrukturen auf der Bauplattform verankertes Modell

In den nachfolgenden Kapiteln werden die verschiedenen additiven Fertigungsverfahren, welche den Prozesskategorien nach DIN EN ISO 52900 zugeordnet sind,

vorgestellt. Die Beschreibung der Verfahren erfolgt einheitlich anhand folgender Struktur:

- Alternative Bezeichnungen
- Verfahrensbeschreibung
- Werkstoffe
- Nachbearbeitung
- Anwendungsbereich
- Vorteile
- Nachteile

Die Beschreibung der einzelnen Verfahren erfolgt auf eine allgemeine Art und Weise. Spezifische Verfahrensausprägungen, wie sie z. T. von den Anlagenherstellern realisiert werden, bleiben bei der Betrachtung außen vor.

2.3.1 Wannenbasierte Photopolymerisation (vat photopolymerization)

Bei der wannenbasierten Photopolymerisation wird in einer Wanne befindliches flüssiges Photopolymer durch selektive UV-Belichtung polymerisiert und damit ausgehärtet (WOHLERS, 2016). Zu den kommerziellen Verfahren der wannenbasierten Photopolymerisation zählen die nachfolgend vorgestellte Stereolithografie und das Digital Light Processing.

2.3.1.1 Stereolithografie

Alternative Bezeichnungen

Laser-Stereolithografie, Laser-Scanner-Stereolithografie, UV-Stereolithografie, Polymerdrucken

Verfahrensbeschreibung

Die Stereolithografie ist das älteste additive Fertigungsverfahren. Es wurde in den achtziger Jahren von dem US-amerikanischen Unternehmen 3D Systems entwickelt und kommerzialisiert (WOHLERS, 2016). Bei der Stereolithografie wird in einer Wanne befindliches photosensitives Baumaterial, es handelt sich meist um Kunstharze, schichtweise durch die punktuelle Belichtung mit einem UV-Laser ausgehärtet. Dabei werden die vorliegenden Monomere polymerisiert und dadurch in ein ausgehärtetes Polymer umgewandelt (FELDHUSEN et al., 2013).

Die in z-Richtung positionierbare Bauplattform befindet sich zu Beginn des Fertigungsprozesses exakt eine Schichtdicke unterhalb der Oberfläche des Harzbades. Der Laserstrahl zum Aushärten des Materials wird durch ein Linsen-System fokussiert und durch ein System aus Umlenkspiegeln entlang der x-y-Achsen gesteuert (HAGL, 2015). Entsprechend der Vorgaben aus der STL-Datei wird der Bauteilquerschnitt, inklusive vorgesehener Stützstrukturen, mit dem Laserstrahl abgefahren und das flüssige Harz dadurch lokal ausgehärtet. Anschließend wird die Bauplattform mit dem teilfertigen Bauteil um eine Schichtdicke in das Harzbad abgesenkt. Ein Raker nivelliert das flüssige Harz oberhalb des Bauteils auf die genau vorgegebene Schichtdicke (BERGER et al., 2017). Die nächste Materialschicht wird mittels Laserstrahl polymerisiert und dadurch mit der darunterliegenden Schicht verbunden. Das

auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen, da beim Drucken in das flüssige Bad Überhänge andernfalls darin verloren gehen würden (GEBHARDT, 2016). Die Stützstrukturen werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil generiert.

Der prinzipielle Aufbau einer Stereolithografie-Anlage mit den wichtigsten Systemkomponenten ist in nachfolgender **Abb. 2.5** aufgezeigt.

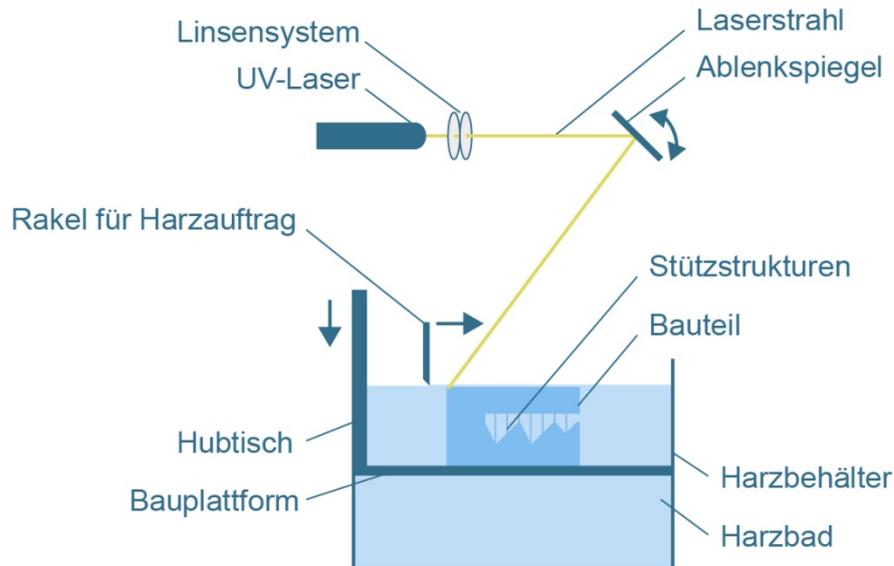


Abb. 2.5 Aufbau und Elemente einer Stereolithografie-Anlage

Werkstoffe

Typischerweise werden für die Photopolymerisation UV-aktivierbare Kunstharze (Acryl- und Epoxidharze) verwendet (BERGER et al., 2017). Diese können, um bestimmte Materialeigenschaften zu erreichen, mit weiteren Materialien (z. B. Keramikpulver, Glas oder Kohlenstoff) angereichert werden.

Nachbearbeitung

Nach der Fertigstellung wird das Bauteil durch manuelles Abtupfen mit Isopropanol bzw. Aceton von Resten flüssigen Harzes gereinigt (BERGER et al., 2017). Häufig ist zudem ein Nachhärten im UV-Ofen notwendig (HAGL, 2015). In Abhängigkeit von der Bauteilkomplexität und dem verwendeten Material werden die Stützstrukturen vor oder nach der vollständigen Aushärtung entfernt (GEBHARDT, 2016). Die Entfernung der Stützstrukturen erfolgt manuell (z. B. mit einem Seitenschneider) (GEBHARDT, 2016).

Abschließend können die Bauteile, in einem vom Fertigungsprozess unabhängigen Schritt, für eine Verbesserung der Oberflächenqualität gesandstrahlt oder poliert werden und bei Bedarf zusätzlich lackiert werden (GEBHARDT, 2016).

Anwendungsbereich

Die Stereolithografie findet vorrangig im Rapid-Prototyping und Rapid-Tooling Anwendung. Aufgrund der Möglichkeit feine Strukturen und Details sowie eine sehr gute

Oberflächenqualität herzustellen, eignet sich das Verfahren besonders für die Erzeugung von Modellen mit feinen Details oder für Passform- und Konzeptmodelle (BERGER et al., 2017). Aufgrund der verfügbaren transparenten Materialien können die erzeugten Modelle gut für Funktionstest, z. B. Strömungsversuche oder Windkanaltests, verwendet werden. Im Bereich des Rapid Tooling lassen sich Urmodelle für Folgeprozesse (z. B. für Vakuumguss) oder prototypische Werkzeugeinsätze erzeugen (BERGER et al., 2017). Die Stereolithografie ist weit verbreitet im Industrie- und Medizinbereich (PAHL et al., 2013).

Vorteile

Da es sich bei der Stereolithografie um das älteste der additiven Fertigungsverfahren handelt liegen besonders viele Erfahrungswerte vor und das Verfahren ist dementsprechend sehr ausgereift (BERGER et al., 2017). Durch die Verwendung flüssiger Harze lässt sich eine sehr glatte und dichte Struktur erzeugen. Zudem ist das Verfahren sehr genau und bei einer Bautemperatur von rund 25 °C tritt gar kein oder nur sehr geringer Verzug des Werkstücks auf. Dadurch wird die Fertigung sehr komplexer und dünnwandiger Strukturen ermöglicht (FELDHUSEN et al., 2013). Im Vergleich zu anderen additiven Fertigungsverfahren ist der höchste Detailreichtum und beste Oberflächengüte möglich (GEBHARDT, 2016). Aber auch die Anfertigung überdimensionaler Objekte ist möglich (HAGL, 2015) – so wurde beispielsweise in einem Bauprozess eine 1,86 m große Statue angefertigt. Die mittels Stereolithografie gefertigten Bauteile lassen sich gut nachbehandeln, z. B. Lackieren. Das überflüssige Harz aus dem Harzbad kann für nachfolgende Prozesse wiederverwendet werden (FELDHUSEN et al., 2013).

Nachteile

Die Materialauswahl ist für die Stereolithografie prozessbedingt beschränkt, abhängig von dem verwendeten Material kann zudem ein Nachhärten erforderlich sein (PAHL et al., 2013). Aufgrund des verwendeten photosensitiven Materials verfügt das gefertigte Bauteil nur über geringe thermische und mechanische Belastbarkeit (FASTERMANN, 2016). Die zu verwendenden Stützkonstruktionen müssen in einem Nachbearbeitungsschritt manuell entfernt werden und müssen daher auch zugänglich sein (HAGL, 2015). Zudem schränken sie die Ausrichtung des Bauteils in der Baukammer ein, da die Entfernung der Stützen Spuren auf der Bauteiloberfläche hinterlassen und somit nicht jede Ausrichtung möglich ist (GEBHARDT, 2014). Eine Stapelung mehrerer Bauteile in der Baukammer ist aufgrund der Stützstrukturen ebenfalls nicht möglich (GEBHARDT, 2014).

Das UV-empfindliche Baumaterial ist nur begrenzt haltbar. Das Verfahren ist aufgrund des verwendeten Laser- und Scanner-Systems eine hochpreisige Technologie (HAGL, 2015). Das überschüssige Material aus dem Harzbad kann zwar für nachfolgende Prozesse wiederverwendet werden, ist jedoch anfällig für Dekontaminations- bzw. Degenerationsfehler (HAGL, 2015).

2.3.1.2 Digital Light Processing (DLP)

Alternative Bezeichnungen

UV-Flächenbelichtungsverfahren, Lampen-Masken-Verfahren

Verfahrensbeschreibung

Das Lampen-Masken-Verfahren ist dem Verfahren der Stereolithografie sehr ähnlich, es unterscheidet sich hauptsächlich durch die Form der Belichtung. Das Digital Light Processing ist eine vom US-amerikanischen Unternehmen Texas Instruments entwickelte und als Marke registrierte Projektionstechnik (GEBHARDT, 2014). Diese wird als Lichtquelle für die Verfestigung von photosensitivem Baumaterial genutzt.

Ein Bad mit flüssigem Photopolymer wird schichtweise entsprechend dem Bauteilquerschnitt mit dem hochauflösenden DLP-Projektor (Digital Light Processor) verfestigt (FASTERMANN, 2016). Dafür wird über eine Matrix mit ansteuerbaren Mikrospiegel das UV-Licht gemäß der zu verfestigenden Kontur flächig auf das Photopolymerbad projiziert. Für jede neue Schicht werden die Spiegel im DLP-Projektor anhand der Vorgaben aus der STL-Datei angesteuert. Dadurch muss nur der Hubtisch in z-Richtung verfahren werden. Der Projektor kann ober- oder unterhalb des Harzbades angebracht sein. Die Mehrzahl der DLP-Maschinen baut „über Kopf“, d. h. die Bauplattform taucht von oben in das Harzbad ein. Und zwar so tief, dass zwischen Plattform und Glasboden genau eine Schichtdicke des Baumaterials eingeschlossen wird. Diese wird mittels DLP-Projektor entsprechend dem Bauteilquerschnitt durch die Glasscheibe polymerisiert und damit ausgehärtet. Anschließend wird die Bauplattform mit dem teilfertigen Bauteil um eine Schichtdicke aus dem Harzbad hochgehoben, die nächste Schicht Harz fließt in den Spalt und kann ausgehärtet werden. Für die Verankerung des Bauteils auf der Bauplattform und für die Generierung von Überhängen sind Stützstrukturen notwendig. Diese werden prozessintegriert aus demselben Material wie das Bauteil generiert.

In der nachfolgenden **Abb. 2.6** sind der prinzipielle Aufbau und die Elemente einer DLP-Anlage aufgezeigt.

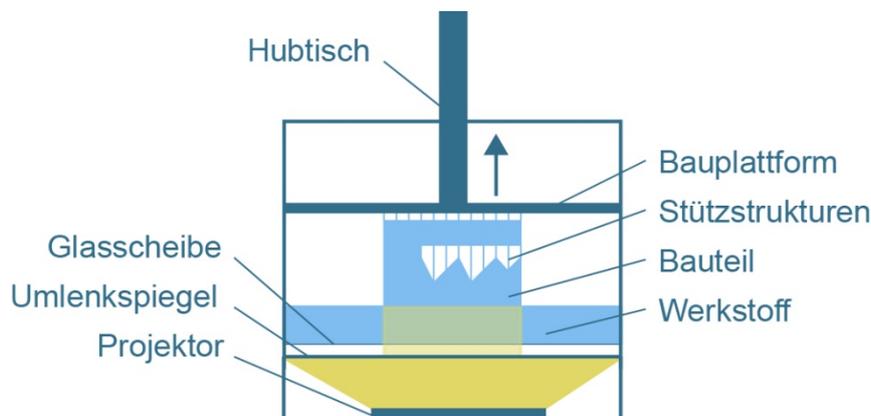


Abb. 2.6 Aufbau und Elemente einer DLP-Anlage

Werkstoffe

Analog zur Stereolithografie werden beim DLP-Verfahren für die Photopolymerisation UV-aktivierbare Kunstharze (Acryl- und Epoxidharze) verwendet. Diese können ebenfalls mit Füllstoffen versehen werden um die Materialeigenschaften des Bauteils zu verbessern. Auch biokompatible Materialien, wie sie z. B. zur Herstellung von Hörgerätegehäusen verwendet werden, sind verfügbar (GEBHARDT, 2014).

Nachbearbeitung

Auch der Nachbearbeitungsprozess des DLP-Verfahrens ist dem der Stereolithografie gleich. Das gefertigte Bauteil wird manuell mit Lösungsmittel (z. B. Isopropanol) von überflüssigen Materialresten befreit, die Stützstrukturen werden mechanisch entfernt und bei Bedarf wird das Bauteil in einem UV-Ofen nachgehärtet (BERGER et al., 2017). Eine mechanische Bearbeitung bzw. Oberflächenbehandlung des Bauteils mittels Sandstrahlen oder Schleifen und Polieren verbessert dessen Oberflächengüte. Durch eine abschließende Lackierung können die Bauteile veredelt werden.

Anwendungsbereich

Das Verfahren ist besonders für die Herstellung von Bauteilen geeignet, bei denen feine Strukturen und hohe Oberflächenqualitäten erzeugt werden sollen. Aufgrund dessen wird das Verfahren vorrangig in der Schmuckindustrie und in Dentallaboren für die Erzeugung von Modellen für den Feinguss eingesetzt (BERGER et al., 2017) sowie zur Herstellung von Hörgeräteschalen aus biokompatiblen Materialien.

Vorteile

Das Verfahren bietet eine feine Auflösung und dementsprechend auch eine hohe Oberflächenqualität. Durch die Belichtung eines ganzen Querschnitts ist zudem die Bauzeit unabhängig von der Komplexität des Bauteils und der Belegung der Bauplattform mit Bauteilen (GEBHARDT, 2016). Wird das Bauteil in „über Kopf“-Ausrichtung gefertigt, müssen nur geringe Mengen an Harz im Bauraum vorgehalten werden (GEBHARDT, 2016). Auch können schnelle Materialwechsel vorgenommen werden bei einer Vielzahl zur Verfügung stehender photosensitiver Kunststoffe (GEBHARDT, 2014). Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist, dass für die Belichtung kein kostenintensiver Laser notwendig ist (HAGL, 2015).

Nachteile

Die Stützstrukturen werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil erzeugt, jedoch ist die mechanische Entfernung der Stützstrukturen von dem ausgehärteten Bauteil aufwendig (FASTERMANN, 2016). Die Verwendung von lichtempfindlichen Photopolymeren als Baumaterial bedingt, dass die Bauteile über eine geringe thermische Qualität verfügen (FASTERMANN, 2016). Auch muss der Bauraum vor Fremdlicht geschützt werden (GEBHARDT, 2016). Das Verfahren ist nur für kleine Bauteile geeignet (GEBHARDT, 2014), für großformatige wird es, aufgrund der benötigten steuerbaren Mikrospiegel, sehr kostenintensiv und technisch herausfordernd (WOHLERS, 2016).

2.3.2 Werkstoffextrusion (material extrusion)

Bei der Werkstoffextrusion wird das zu verarbeitende Material durch Düsen oder Nadeln extrudiert. Das verbreitetste Verfahren dieser Kategorie ist das nachfolgend vorgestellte Schmelzschichtverfahren, für welches eine Reihe von weiteren Bezeichnungen existiert.

2.3.2.1 Fused Layer Modeling (FLM)

Alternative Bezeichnungen

Fused Layer Manufacturing, Fused Deposition Modeling (FDM®), Fused Filament Fabrication (FFF), Schmelzschichtverfahren, Strangablageverfahren

Verfahrensbeschreibung

Beim Fused Layer Modeling wird für den schichtweisen Aufbau des Bauteils vorgefertigtes thermoplastisches Material, welches in Strangform vorliegt und als Filament bezeichnet wird, verwendet (FASTERMANN, 2016). Das drahtförmige, auf Spulen aufgewickelte Material wird kontinuierlich dem Extrusionskopf der Maschine zugeführt, durch Erhitzung bis kurz über den Verflüssigungspunkt aufgeschmolzen und mittels einer beheizten und beweglichen Düse lokal aufgetragen (FASTERMANN, 2016). Für das positionsgenaue Auftragen des Materials wird der Extrusionskopf in x- und y-Richtung verfahren. Nach dem Auftrag einer Materialschicht senkt sich die Bauteilplattform in z-Richtung um eine Schichtdicke ab und anschließend wird die nächste Materialschicht aufgetragen. Die Verbindung der einzelnen Materialschichten erfolgt durch die Wärmeleitung der neu aufgetragenen Schicht in die darunterliegenden Schichten (GEBHARDT, 2014). Der Stoffschluss entsteht somit beim Erkaltingsprozess. Für überhängende Geometrien und die Verankerung des Bauteils auf der Bauplattform werden Stützstrukturen benötigt (WOHLERS, 2016). Diese werden entweder aus dem Werkstoff oder durch separates Stützmaterial, das gleichzeitig mit dem Werkstoff aus einer zweiten Düse extrudiert wird, erzeugt. Damit eine gleichmäßige und verzugsfreie Abkühlung und Verfestigung des Bauteils gewährleistet wird, wird dieses auf einer beheizten Bauplattform oder in einem beheizten Bauraum gefertigt (BERGER et al., 2017).

In **Abb. 2.7** sind der prinzipielle Aufbau und die Komponenten einer FLM-Anlage dargestellt.

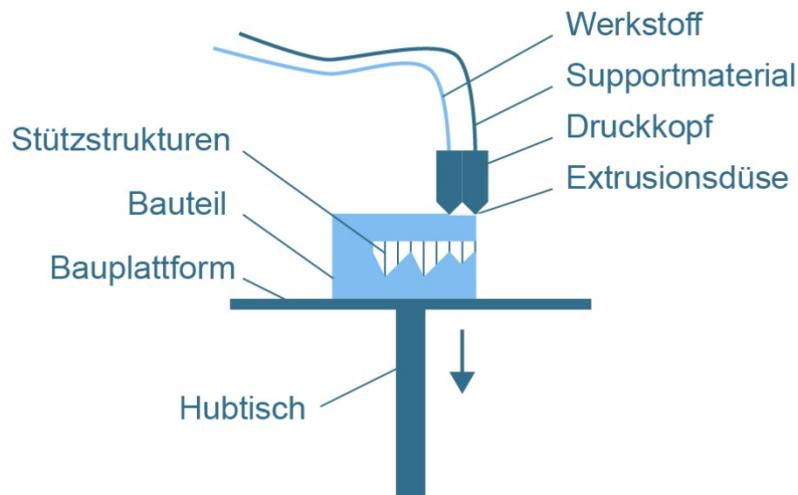


Abb. 2.7 Aufbau und Elemente einer FLM-Anlage

Werkstoffe

Beim Schmelzschichtverfahren kommen vorrangig Kunststoffe wie Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Poly-Lactic-Acid (PLA) und Polycarbonate (PC) oder Hochleistungskunststoffe zum Einsatz (GEBHARDT, 2014). Zudem finden synthetische und natürliche Wachse (HAGL, 2015), sogenanntes Laywood (Holzdraht) oder Laybrick (Sandstein) Anwendung (FASTERMANN, 2016). Die Werkstoffe sind größtenteils, für die Erzeugung farbiger Bauteile, auch eingefärbt erhältlich (GEBHARDT, 2016).

Nachbearbeitung

Im Anschluss an den Fertigungsvorgang und nach der Abkühlung des Bauteils müssen die Stützstrukturen, in Abhängigkeit von dem dafür verwendeten Material, von Hand (z. B. durch Abbrechen) oder mittels einer Wascheinrichtung entfernt werden. Letzteres ist bei der Verwendung von wasserlöslichem Wachs als Stützmaterial der Fall. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität kann ein nachträgliches manuelles Schleifen bzw. Polieren des Bauteils beitragen (GEBHARDT, 2014).

Anwendungsbereich

Das Fused Layer Modeling wird im Bereich des Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Rapid Manufacturing eingesetzt. Es dient der Herstellung von Anschauungsmodellen, Passform-Modellen oder zur Herstellung von Prototypen für Funktionstests (BERGER et al., 2017). Im Bereich des Rapid Tooling kann es eingesetzt werden für die Herstellung von Urmodellen für Folgeprozesse (z. B. Vakuumguss) oder für Abformwerkzeuge. Im Bereich des Rapid Manufacturing wird es eingesetzt für die Fertigung von Endbenutzerteilen in Medizin- und Pharmatechnik sowie in der Luft- und Raumfahrt.

Einem Großteil der auf dem Markt erhältlichen Fabber liegt dieses Verfahrensprinzip zugrunde, wenn auch teilweise ohne die Möglichkeit Stützstrukturen zu erzeugen (GEBHARDT, 2014). Das Schmelzschichtverfahren ist für Maschinen vom Typ Fabber bis Production Printer verfügbar.

Vorteile

Das Schmelzschichtverfahren zählt zu den preisgünstigeren Verfahren (FASTERMANN, 2016) und ermöglicht mit relativ einfacher technischer Umsetzung die Fertigung von Teilen in verhältnismäßig kurzer Zeit (FELDHUSEN, 2013). Ein nachträgliches Aushärten der Bauteile ist nicht notwendig. Auch lassen sich verschiedene Materialien verarbeiten und diese können, sofern mehrere Extrusionsdüsen zur Verfügung stehen, gleichzeitig in einem Bauprozess verarbeitet werden (FELDHUSEN, 2013). Es wird nur das für den Bauprozess benötigte Material verwendet, im Gegensatz zu wannen- und pulverbettbasierten Verfahren. Nicht verwendetes Material kann uneingeschränkt für nachfolgende Prozesse verwendet werden (GEBHARDT, 2016).

Nachteile

Der Detaillierungsgrad und die herstellbaren Strukturen des Bauteils werden limitiert durch den Durchmesser der Extrusionsdüse, welcher üblicherweise zwischen 0,1 bis 0,25 mm liegt (BERGER et al., 2017). Auch die Oberflächenqualität wird hierdurch beeinflusst. Die erforderlichen Stützstrukturen müssen z. T. manuell entfernt werden, was mit zusätzlichem Zeitaufwand und Spuren an der Bauteiloberfläche verbunden ist. Bei der Anordnung des Bauteils in der Baumkammer muss bedacht werden, dass Eigenschaften und Aussehen des Bauteils, aufgrund der Strangablage, durch dessen Ausrichtung beeinflusst werden (GEBHARDT, 2014).

2.3.3 Werkstoffauftrag (material jetting)

In der Verfahrenskategorie „Werkstoffauftrag“ entsteht das Bauteil durch das gezielte Absetzen von Tropfen des Ausgangswerkstoffs (DIN EN ISO/ASTM 52900:2017). Die Aushärtung des Materials erfolgt entweder als thermisches Verfahren durch die Abkühlung des Werkstoffs oder als chemisches Verfahren durch UV-Belichtung des photosensitiven Ausgangsmaterials. Die zugehörigen Verfahren sind nach VDI 3405 als Multi-Jet Modeling und Poly-Jet Modeling bezeichnet.

2.3.3.1 Multi-Jet Modeling (MJM)

Alternative Bezeichnungen

Thermojet Modeling, Thermojet printer, Inkjet printing

Verfahrensbeschreibung

Der schichtweise Aufbau eines Bauteils mittels Multi-Jet Modeling funktioniert ähnlich dem Tintenstrahldruckprinzip. Das Baumaterial, in der Regel Kunststoff bzw. Wachs, wird thermisch verflüssigt und durch einen Druckkopf schichtweise in Tropfenform positionsgenau aufgetragen. Üblicherweise bewegt sich dazu die Bauplattform in horizontaler Richtung (x-Achse) und der Druckkopf in vertikaler Richtung (z-Achse). Die Druckbreite des Druckkopfes entspricht der Baufeldbreite und wird über nebeneinander angeordneten und parallel arbeitenden Druckdüsen realisiert. Das selektiv aufgetragene thermisch verflüssigte Material geht mit der vorhergehenden Schicht eine Verbindung ein und härtet beim Abkühlen aus. Damit das Bauteil sich nicht verformt, wird über separate Düsen leicht lösbares Stützmaterial (z. B. aus Wachs) aufgetragen. Im unmittelbaren Nachgang an die Tropfenauftragung wird die neu entstandene Schicht durch einen Walzenkörper nivelliert. Anschließend wird der Druck-

kopf um eine Schichtdicke in z-Richtung angehoben und die nächste Bauteilschicht kann gedruckt werden. In nachfolgender **Abb. 2.8** sind der prinzipielle Aufbau und die Elemente einer Multi-Jet Modeling-Anlage aufgezeigt.

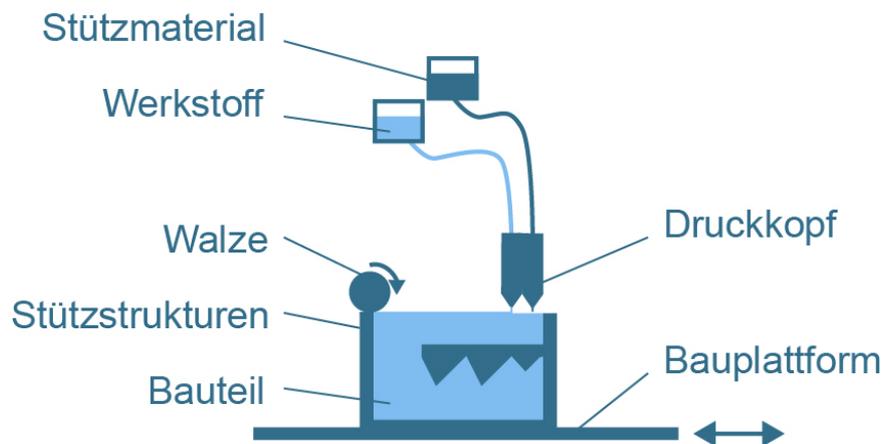


Abb. 2.8 Aufbau und Elemente einer MJM-Anlage

Werkstoffe

Für die thermischen Verfahren des Werkstoffauftrags eignen sich als Baumaterial Wachse bzw. thermoplastische Werkstoffe. Zum Einsatz kommen hier vorrangig technische Kunststoffe (z. B. ABS oder PC). Das Material wird in Materialkartuschen oder in Nachfüllbehältern für die Drucktanks geliefert.

Nachbearbeitung

Das erzeugte Bauteil geht über die Stützstrukturen eine Verbindung mit der Bauplattform ein, weshalb für den nachfolgenden Bauprozess die Plattform ausgetauscht wird. Da das Stützmaterial eine niedrigere Schmelztemperatur als das Baumaterial aufweist, wird durch Erwärmen der Bauplattform auf einer externen Heizplatte die Verbindung der Stützen mit der Bauplattform aufgelöst und das Bauteil kann entnommen werden (BERGER et al., 2017). In Abhängigkeit von dem verwendeten Stützmaterial können die übrigen Stützstrukturen in einem warmen Bad mit Lösungsmittel oder durch die manuelle Bearbeitung mittels Wasserstrahl entfernt werden. In optionalen Nachbearbeitungsschritten kann die Oberflächenqualität des Bauteils durch mechanische Bearbeitung verbessert werden.

Anwendungsbereich

Das Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung von kleinen Teilen mit hohen Anforderungen an Oberflächenqualität und Auflösung, wie es beispielsweise in der Schmuck- und Dentalindustrie nötig ist (BERGER et al., 2017). Die Verarbeitung unterschiedlicher Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften eignet sich für die Herstellung von Prototypen und Einzelanfertigungen (z. B. in der Medizinindustrie).

Aufgrund der kompakten Anlagen und dem einfachen Materialwechsel durch Kartuschen bzw. Nachfüllbehälter, werden MJM-Anlagen z. T. auch in Büroumgebungen betrieben (BERGER et al., 2017).

Vorteile

Das MJM-Verfahren ermöglicht das Auftragen sehr dünner Schichten und dadurch die Herstellung sehr feiner Strukturen (FASTERMANN, 2016). Dadurch verfügen die erzeugten Bauteile über eine sehr gute Oberflächenqualität. Die Anlagen sind kompakt und verhältnismäßig günstig in der Anschaffung (BERGER et al., 2017).

Nachteile

Die Stützstrukturen müssen in einem nachgelagerten Prozessschritt entfernt werden. Die Schichtdicke ist durch die Tropfengröße begrenzt. Dadurch ergeben sich verhältnismäßig lange Bauzeiten (FASTERMANN, 2016) und ein kleiner Bauraum (BERGER et al., 2017). Auch fallen große Menge an nicht wiederverwendbarem Stützmaterial an (BERGER et al., 2017). Aufgrund der genannten Limitierungen ist der industrielle Einsatz von MJM-Anlagen für großformatige Bauteile und hohe Stückzahlen eingeschränkt (BERGER et al., 2017).

2.3.3.2 Poly-Jet Modeling (PJM)

Alternative Bezeichnungen

Harz-Druck, Polymerdrucken, Polymer-Jetten

Verfahrensbeschreibung

Beim Poly-Jet Modeling wird simultan über Druckköpfe flüssiges, UV-reaktives Kunstharz (Photopolymer) sowie Stützmaterial aus leicht lösbarem Material entsprechend dem vorgegebenen Bauteilquerschnitt aufgetragen. Dazu verfährt der Druckkopf entlang der x- und der y-Achse. Jede aufgetragene Materialschicht wird im unmittelbaren Nachgang mit einem Rakel nivelliert und mittels einer UV-Lampe ausgehärtet. Nachdem eine Schicht aufgetragen wurde, wird die Bauplattform um eine Schichtdicke in z-Richtung abgesenkt und die nächste Materialschicht wird aufgetragen (FELDHUSEN et al., 2013). Der prinzipielle Aufbau einer PJM-Anlage ist in **Abb. 2.9** dargestellt.

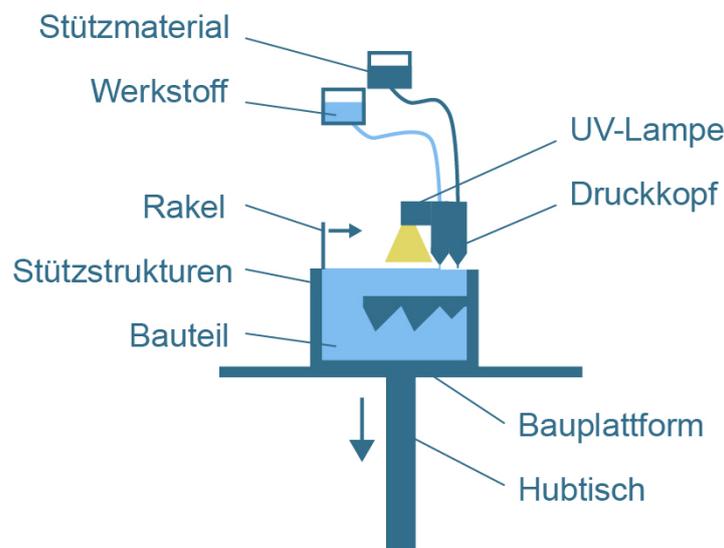


Abb. 2.9 Aufbau und Elemente einer PJM-Anlage

Werkstoffe

Beim Poly-Jet Modeling kommen Photopolymere zum Einsatz. Üblicherweise handelt es sich dabei um Acryl- und Epoxidharze (ACATECH, 2016). Durch die Verwendung farbiger Materialien können eingefärbte Bauteile hergestellt werden. Stehen mehrere Materialdüsen zur Verfügung, ist die Herstellung eines Bauteils mit verschiedenen Materialbereichen (z. B. gummiartige und feste Bereiche) möglich.

Nachbearbeitung

In einem Nachbearbeitungsschritt müssen die Stützstrukturen entfernt werden. Da es sich um leicht lösbares Material handelt, können diese in der Regel durch einen Wasserstrahl entfernt oder ausgewaschen werden (GEBHARDT, 2016). Anschließend kann, je nach Anwendungsgebiet, eine mechanische Bearbeitung des Bauteils und ggf. eine Oberflächenbehandlung nötig sein.

Anwendungsbereich

Das Poly-Jet Modeling eignet sich für die Herstellung von (farbigen) Konzeptmodellen oder Funktionsprototypen. Auch die Herstellung von Werkzeugeinsätzen und Bauteilen aus unterschiedlichen Kunststoffen sind möglich.

Aufgrund der Verfügbarkeit von Materialien für spezielle Anwendungen (z. B. farbige Materialien oder hautverträgliche Materialien) wird das Verfahren in verschiedensten Industriebereichen eingesetzt (FELDHUSEN et al., 2013). Dazu zählen die Automobilindustrie, die Elektronik- und Konsumgüterindustrie, die Medizin- und Dentaltechnik sowie die Schmuckindustrie.

Vorteile

Mit dem Verfahren können Bauteile mit einer sehr guten Oberflächengüte und sehr guter Maßhaltigkeit hergestellt werden (FASTERMANN, 2016). Das Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung von Bauteilen mit sehr komplexen und dünnwandigen Strukturen (GEBHARDT, 2016). Da die Aushärtung des Materials prozessintegriert erfolgt ist kein anschließendes Nachhärten erforderlich (FELDHUSEN et al., 2013). Durch die Möglichkeit gleichzeitig unterschiedliche Materialien zu verbauen, kann eine Vielzahl an Materialkombinationen mit unterschiedlichen Eigenschaften erzeugt werden (FASTERMANN, 2016). Die erzeugten Bauteile können z. B. durch Lackierung nachbehandelt werden (FELDHUSEN et al., 2013).

Nachteile

Die Erzeugung eines Bauteils mittels Poly-Jet Modeling erfordert die flächige Unterbauung mit Stützmaterial. Diese müssen in einem nachgelagerten Prozessschritt entfernt werden. Aufgrund der Verwendung von photosensitivem Material, verfügt das gefertigte Bauteil nur über geringe thermische und mechanische Belastbarkeit.

2.3.4 Bindemittelauftrag (binder jetting)

Zu der Verfahrenskategorie Bindemittelauftrag, bei der das Bauteil durch das lokale Auftragen von Bindemittel auf ein Pulverbett entsteht, zählt das, häufig synonym für additive Fertigung genutzte, 3-D-Drucken.

2.3.4.1 3-D-Drucken

Alternative Bezeichnung

Binder Jetting, 3-D-Printing

Verfahrensbeschreibung

Beim 3-D-Drucken wird über einen in x- und y-Richtung verfahrbaren mehrdüysigen Druckkopf flüssiges Bindemittel selektiv auf eine Pulverschicht aufgetragen (FELDHUSEN et al., 2013). Das Bindemittel wird entsprechend der vorgegebenen Bauteilkontur aufgetragen und sorgt dafür, dass die Pulverpartikel an den vorgesehenen Stellen miteinander verkleben. Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke in z-Richtung abgesenkt und eine neue Schicht Pulver wird aus dem Pulvervorrat mit einem Beschichter aufgetragen. Auf die neue Pulverschicht wird ebenfalls selektiv Bindemittel aufgetragen und die Pulverpartikel der neuen Schicht verkleben an den vorgesehenen Stellen mit der darunterliegenden Schicht (BERGER et al., 2017). So entsteht das zu fertigende Bauteil in ein Pulverbett hinein. Das Bauteil umgebende Pulver dient als Unterstüztzung, sodass keine Stützstrukturen benötigt werden (GEBHARDT, 2014). In **Abb. 2.10** sind der typische Aufbau und die Elemente einer 3-D-Druckanlage dargestellt.

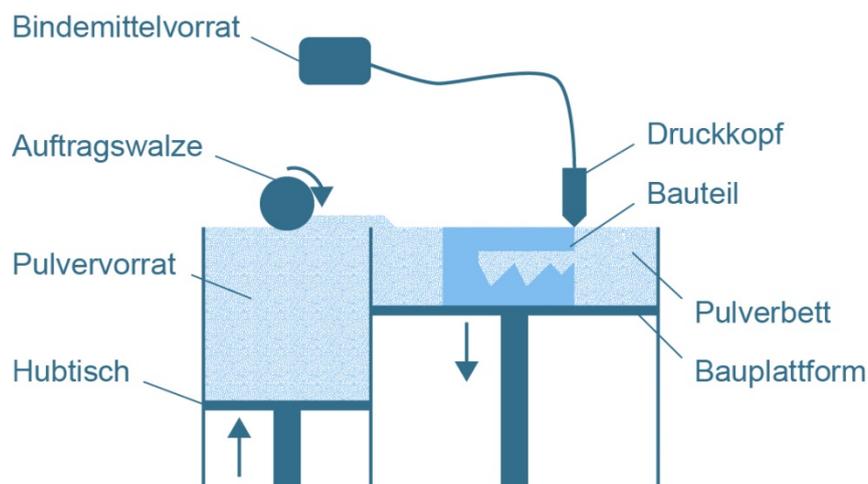


Abb. 2.10 Aufbau und Elemente einer 3-D-Druckanlage

Werkstoffe

Für den 3-D-Druck verwendbare Materialien können auf Stärke bzw. Gips basieren oder gießereübliche Sande zur Herstellung von Formen sein. Auch der Einsatz von metallischen Ausgangsstoffen (z. B. Edelstahlpulver) zur Herstellung eines sogenannten Grünlings, der in Nachfolgeprozessen weiterbearbeitet werden muss, ist möglich (FELDHUSEN et al., 2013). Weiterhin können Kunststoffe, Kalkpulver mit Epoxidhülle und weitere pulverförmige Materialien (z. B. Keramik oder Zellulose) verwendet werden (FASTERMANN, 2016).

Nachbearbeitung

Nach der Entnahme des Bauteils aus dem Pulverbett wird dieses manuell mit Druckluft oder durch Abbürsten von überschüssigem Pulver befreit (FASTERMANN, 2016).

Um die Stabilität des Bauteils zu erhöhen und eine bessere Oberflächengüte zu erreichen, kann das Bauteil infiltriert werden (HAGL, 2015). Werden Keramik- oder Metallpulver als Ausgangsmaterial genutzt, wird ein sogenanntes „grünes“ Bauteil erzeugt, welchem durch thermische Nachbehandlung der Binder entzogen wird und das durch anschließendes Sintern seine finalen Eigenschaften erreicht (GEBHARDT, 2014).

Anwendungsbereich

Das 3-D-Druckverfahren wird im Rahmen des Rapid Prototyping hauptsächlich für die Erzeugung von Anschauungsobjekten für Industrie-, Architektur- und Medizinanwendungen genutzt. Erzeugte metallische Grünlinge eignen sich, nach deren Bearbeitung in Folgeprozessen, im Sinne des Rapid Tooling als Formen und Kerne für Sand- und Feingussanwendungen (FELDHUSEN et al., 2013).

Die Erzeugung von Konzeptmodellen mittels 3-D-Druck findet bereits auch für Büroanwendungen Einsatz (GEBHARDT, 2014).

Vorteile

Beim 3-D-Druck sind keine Stützstrukturen notwendig, da das nicht gebundene Pulver im Pulverbett die Abstützfunktion übernimmt. Das nicht verwendete Pulver kann für nachfolgende Prozesse wiederverwendet werden. Weil keine Stützstrukturen benötigt werden, können Bauteile übereinandergestapelt und in einem Druckzyklus erzeugt werden. Die Kosten für 3-D-Druckanlagen und das benötigte Material sind relativ gering, weil keine Energiequelle erforderlich ist. Der Einsatz verschiedenfarbiger Binder, sofern mehrere Düsen vorhanden sind, ermöglicht den Druck farbiger Objekte (FELDHUSEN et al., 2013). Es steht eine große Auswahl an Materialien zur Verfügung, da es wesentlich auf die Eigenschaften des Binders ankommt (GEBHARDT, 2016).

Nachteile

Die Maßhaltigkeit und Detailgenauigkeit des erzeugten Bauteils sind aufgrund des verwendeten Pulvermaterials eingeschränkt. Ebenso bedingt das Material eine raue Oberfläche (GEBHARDT, 2014). Es sind dem Druckprozess nachgelagerte Infiltrierprozesse und abhängig vom verwendeten Werkstoff ggf. eine nachfolgende Verfestigung im Ofen erforderlich um die mechanische Belastbarkeit der Bauteile zu erhöhen (FELDHUSEN et al., 2013). Die Belastbarkeit des Bauteils hängt somit nicht nur vom verwendeten Material, sondern auch von der Ausführungsgüte der Infiltration ab (GEBHARDT, 2014).

2.3.5 Pulverbettbasiertes Schmelzen (powder bed fusion)

Beim pulverbettbasierten Schmelzen wird das in Pulverform vorliegende thermoplastische Material selektiv geschmolzen und durch anschließendes Abkühlen verfestigt. Die zu dieser Verfahrenskategorie gehörigen kommerzialisierten Verfahren werden nachfolgend vorgestellt.

2.3.5.1 Laser-Sintern

Alternative Bezeichnungen

Selektives Laser-Sintern (SLS®), Kunststoff-Laser-Sintern

Verfahrensbeschreibung

Beim Laser-Sintern-Verfahren wird thermoplastisches Material in Pulverform durch einen Laser versintert. Die im beheizten Bauraum befindliche und mittels Hubkolben verfahrbare Bauplattform wird durch eine Auftragswalze mit einer Schicht Pulver aus dem Pulvervorrat bedeckt. Die Pulverschicht wird durch einen über ein Linsensystem fokussierten CO₂-Laserstrahl, welcher über Umlenkspiegel gesteuert wird, entsprechend der durch die STL-Datei vorgegebenen Schichtgeometrie in x- und y-Richtung abgefahren. Der Laserstrahl schmilzt die bestrahlten Pulverpartikel lokal auf. Durch den unmittelbar folgenden Abkühlvorgang werden die Partikel fest miteinander verbunden. Nachdem der Vorgang für die Pulverschicht beendet ist, wird die Bauplattform um eine Schichtdicke in z-Richtung abgesenkt und eine neue Schicht Pulver wird aus dem Pulvervorrat aufgetragen. Die nächste Pulverschicht wird entsprechend der vorgegebenen Bauteilgeometrie versintert.

Bei der Verwendung von Kunststoffpulvern, was vorrangig der Fall ist, werden keine Stützstrukturen benötigt, da im Bauraum befindliches, ungesintertes Pulver als Unterstützung dient (FASTERMANN, 2016). Weil der Laserstrahl nur kurzzeitig auf das Material einwirkt und um Verzug des Bauteils zu vermeiden ist es notwendig, dass das Baumaterial nahe der Schmelztemperatur gehalten wird. Dies wird über eine Beheizung des Bauraums, z. B. mit Infrarotstrahlern, realisiert. Dadurch wird zudem die benötigte Laserleistung reduziert. Üblicherweise wird der Bauraum für die Verarbeitung von polymeren Pulverwerkstoffen auf Temperaturen zwischen 170 ° und 210 ° C beheizt (LACHMAYER et al., 2016). Zusätzlich wird, um Oxidationsvorgänge zu vermeiden, der Bauvorgang in einer Inertgas-Atmosphäre durchgeführt (GEBHARDT, 2016).

Nach der Verfestigung der letzten Bauteilschicht, wird diese mit Pulver bedeckt. Das fertige Objekt befindet sich nun im sogenannten Pulverkuchen. Dieser Pulverkuchen muss, um Verzug des Bauteils zu vermeiden, langsam abgekühlt werden bevor das Objekt entnommen werden kann. Wird der Pulverkuchen in einer separaten Abkühlkammer abgekühlt, kann die Maschine unmittelbar für den nächsten Fertigungsvorgang genutzt werden (GEBHARDT, 2014). In **Abb. 2.11** ist der typische Aufbau einer Laser-Sinter-Anlage dargestellt.

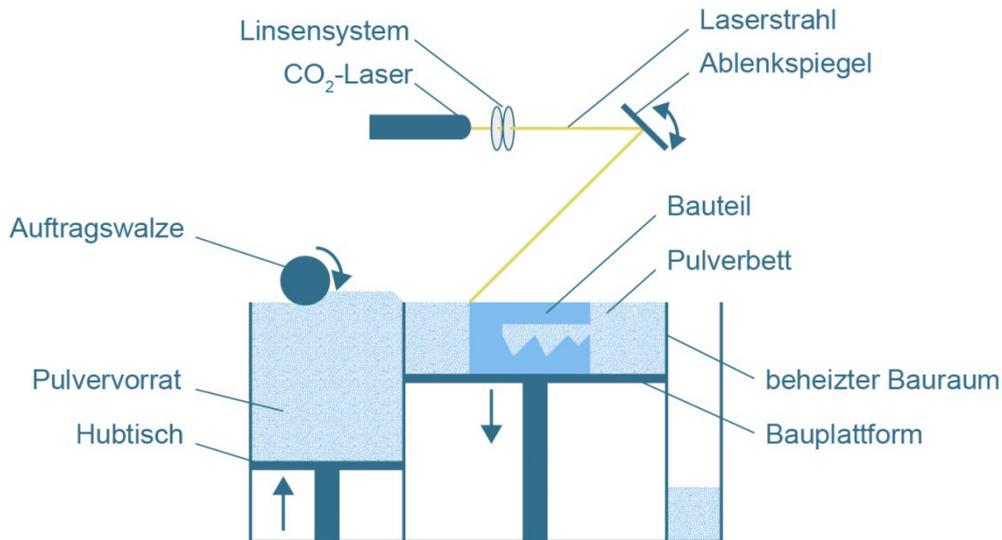


Abb. 2.11 Aufbau und Elemente einer Laser-Sinter-Anlage

Werkstoffe

Für den Prozess eignen sich grundsätzlich alle thermoplastischen Materialien. Aufgrund der besseren Beherrschbarkeit werden jedoch zum größten Teil Kunststoffe und Wachse versintert (GEBHARDT, 2016).

Für die Verwendung von Polymerpulvern kommen vorrangig Polyamide des Typs PA11 und PA12 in Frage. Weiterhin Verwendung finden Polyethylen (PE) und Polypolypropylen (PP) sowie der Hochleistungskunststoff Polyetheretherketon (PEEK) (LACHMAYER et al., 2016). Die Materialien können ungefüllt oder gefüllt verwendet werden. Mit Zusätzen wie Kohlenstoff, Metallpartikeln oder Kohlenstofffasern gefüllte Pulver erzeugen eine höhere Festigkeit und Temperaturbeständigkeit des Materials (GEBHARDT, 2014). Die Zugabe von Zusätzen zu den Pulvermaterialien kann zudem optische und haptische Verbesserungen des gefertigten Objektes bewirken (LACHMAYER et al., 2016).

Nachbearbeitung

Ist der kontrollierte Abkühlvorgang abgeschlossen, muss das Bauteil aus dem Pulver entnommen werden. Dieses sogenannte Ausbrechen wird üblicherweise von Hand mit Hilfe von Bürsten und mittels Sandstrahlen durchgeführt (GEBHARDT, 2014). Überschüssige Pulverpartikel werden mittels Druckluft entfernt. Da die entstandenen Kunststoffbauteile meist porös sind, werden sie infiltriert (GEBHARDT, 2014). Eine Verbesserung der Oberflächenqualität kann durch Glattschleifen, Perlstrahlen und abschließendes Lackieren sichergestellt werden (FASTERMANN, 2016).

Anwendungsbereich

Mittels Laser-Sintern gefertigte Teile werden für Rapid-Prototyping Anwendungen zur Erzeugung von Versuchsmustern, Mustern für den Werkzeugbau und Funktionsprototypen genutzt (BERGER et al., 2017). Ebenso können im Sinne des Rapid Tooling Urmodelle und Abformwerkzeuge erstellt werden. Inzwischen wird das Verfahren auch zunehmend für die Fertigung von Endprodukten und Kleinserien genutzt

(LACHMAYER et al., 2016). Sie kommen in ihren Eigenschaften denen von Kunststoff-Spritzgussteilen nahe (GEBHARDT, 2016) und werden z. B. in der Lebensmittel- und Medizinbranche eingesetzt (FASTERMANN, 2016).

Vorteile

Bei der Verwendung von Polymerpulvern sind keine Stützkonstruktionen erforderlich, da das bauteilumgebende ungesinterte Pulver die Abstützfunktion übernimmt (FELDHUSEN, 2013). Durch die freie Positionierung des Bauteils im Bauraum kann dieser optimal ausgenutzt werden (LACHMAYER et al., 2016). Das ungenutzte Pulver aus dem Pulverbett kann zu 30%-50% unter Aufmischung mit frischem Pulver für nachfolgende Bauprozesse genutzt werden (FASTERMANN, 2016). Das Verfahren lässt die Fertigung komplexer Geometrien zu und Bauteile mit hoher Maßhaltigkeit und hohen Anforderungen an thermische und mechanische Belastbarkeit sind herstellbar (FELDHUSEN et al., 2013). Die verwendeten Kunststoffe können eingefärbt werden, auch sind biokompatible und lebensmittelechte Kunststoffe verfügbar (FELDHUSEN et al., 2013).

Durch Bauraumbeheizung benötigt der Laserstrahl nur eine leichte Temperaturerhöhung um den Schmelzprozess zu starten, was einen schnellen Bauprozess ermöglicht (HAGL 2016).

Nachteile

Die mittels Laser-Sintern gefertigten Teile sind oft porös, weshalb sie getränkt werden müssen (GEBHARDT, 2014). Die Verwendung von Pulvermaterialien und der Laserstrahldurchmesser schränken den Detailierungsgrad ein (FELDHUSEN et al., 2013). Das Pulverbettverfahren ist aufgrund des benötigten Lasers, der Scan-Spiegel und der Inertgas-Atmosphäre verhältnismäßig teuer und komplex (HAGL, 2015). Hersteller binden zudem nicht selten das zu verwendende Material an ihre Garantiebedingungen (HAGL, 2015). Zudem ist ein langsamer Abkühlvorgang im Anschluss an den Sintervorgang erforderlich, der, sofern er nicht außerhalb der Sinteranlage vorgenommen wird, das Verfahren als zeitintensiv gestaltet (HAGL, 2015). Auch die Entfernung des überschüssigen Pulvers vom Bauteil kann sehr aufwendig und zeitintensiv sein (FASTERMANN, 2016).

2.3.5.2 Laser-Strahlschmelzen

Alternative Bezeichnung

Selective Laser Melting (SLM®), LaserCUSING®, Direct Metal Laser Sintering®, Laser Metal Fusion (LMF®)

Verfahrensbeschreibung

Das Verfahrensprinzip beim Laser-Strahlschmelzen ist dem des Laser-Sinterns sehr ähnlich. Der größte Unterschied besteht darin, dass das zu verfestigende Pulver nicht gesintert sondern vollständig aufgeschmolzen wird (FELDHUSEN et al., 2013). Durch Wärmeleitung in vorhergehende Schichten und die Erstarrung des Werkstoffs entsteht eine feste Schicht (FELDHUSEN et al., 2013). Es handelt sich dabei um das derzeit am verbreitetste additive Fertigungsverfahren zur Verarbeitung von metallischen Werkstoffen (LACHMAYER et al., 2016).

Eine aus dem Pulvervorrat auf die Bauplattform aufgetragene Schicht Pulver wird entsprechend der Bauteilgeometrie in x- und y-Richtung durch einen fokussierten Laserstrahl, welcher über Scan-Spiegel gesteuert wird, abgefahren und dabei aufgeschmolzen. Beim Abkühlen erstarrt das zuvor aufgeschmolzene Baumaterial zu einer festen Kontur. Anschließend wird die Bauplattform um eine Schichtdicke in z-Richtung abgesenkt, eine neue Pulverschicht wird aufgetragen und diese wiederum mit dem geführten Laserstrahl abgefahren. (FASTERMANN, 2016) Die Beheizung des Bauraums verhindert den Verzug und die Verdrehung des Bauteils und verringert die benötigte Energie die zum Aufschmelzen des Materials durch den Laser benötigt wird (GEBHARDT, 2014). Analog zum Laser-Sintern findet auch das Laser-Strahlschmelzen in einer Inertgas-Atmosphäre im Bauraum statt. Der Aufbau einer Laser-Strahlschmelzanlage ist in **Abb. 2.12** dargestellt.

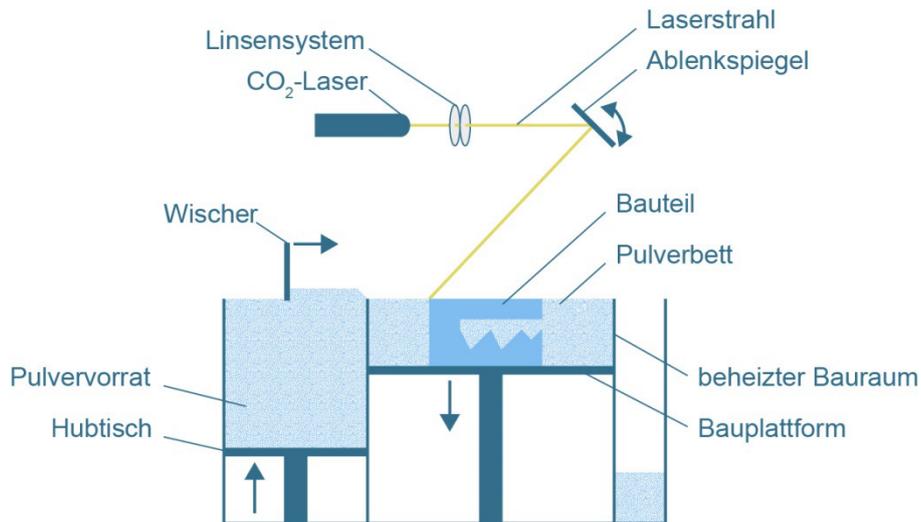


Abb. 2.12 Aufbau und Elemente einer Laser-Strahlschmelzanlage

Werkstoffe

Üblicherweise werden Metalllegierungen verarbeitet (VDI, 2014). Hier können verschiedene Werkstoffe eingesetzt werden, so z. B. verschiedene Stähle, Aluminium-, Kobalt-, Nickel- und Titanlegierungen sowie Edelmetalle (LACHMAYER et al., 2016). Aber auch Kunststoffe und Keramiken können verarbeitet werden (FASTERMANN, 2016).

Nachbearbeitung

Ist der kontrollierte Abkühlvorgang abgeschlossen, kann das Bauteil aus dem Pulverkuchen entnommen werden. Dieses sogenannte Ausbrechen wird üblicherweise von Hand mit Hilfe von Bürsten und mittels Sandstrahlen durchgeführt (GEBHARDT, 2014). Überschüssige Pulverpartikel werden mittels Druckluft entfernt. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität kann das Bauteil abschließend durch Mikrostrahlen, Laserstrahlabtragen oder PVD-Beschichten behandelt werden (FELDHUSEN et al., 2013).

Anwendungsbereich

Das Laser-Strahlschmelzen kommt zur Herstellung von Werkzeugen, Formen und Formeinsätzen sowie von Endprodukten aus Metall zum Einsatz (GEBHARDT, 2014). Es können hochbelastbare Bauteile aus Serienmaterial als Einzelstück oder in Kleinserie erzeugt werden (LACHMAYER et al., 2016). Anwendung findet das Verfahren in der Automobilindustrie, in der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie bei der Herstellung von Implantaten und Prothesen im Medizinbereich.

Vorteile

Das Verfahren ermöglicht die Erzeugung sehr komplexer Geometrien aus Metall. Auch können Hohlraumstrukturen erzeugt werden. Da das verwendete Materialpulver vollständig aufgeschmolzen wird, wird eine sehr gute Oberflächengüte mit nur sehr geringer Porenbildung ermöglicht. Es können Dichten von >99,9% erreicht werden (LACHMAYER et al., 2016), die von ihren Eigenschaften mit denen gegossener Teile ähnlich sind (FASTERMANN, 2016). Das gefertigte Bauteil verfügt in seinen mechanischen Eigenschaften, wie bei konventionell hergestellten Teilen, über die des Grundwerkstoffs (MANYIKA et al., 2013). Das ungeschmolzene Pulver kann anteilig für nachfolgende Prozesse genutzt werden (FELDHUSEN et al., 2013).

Nachteile

Nicht geschmolzene Pulverpartikel kleben an der Kontur des gefertigten Bauteils, was die Bauteilgenauigkeit beeinflusst. Es ist daher zur Verbesserung der Oberflächengüte eine Nachbearbeitung notwendig. Um Oxidationsvorgänge des Baumaterials zu vermeiden, ist es notwendig den Bauprozess in einer Inertgas-Atmosphäre durchzuführen. Die Kosten für Anlagen sind sehr hoch, da sie Metallpulver bis auf den Schmelzpunkt erhitzen können müssen (FELDHUSEN et al., 2013).

Die Orientierung des zu fertigenden Bauteils im Bauraum muss mit Bedacht gewählt werden, da durch den schichtweisen Aufbau Anisotropien im Material entstehen. Dies führt zu richtungsabhängigen Materialeigenschaften. Auch sind Stützstrukturen zur Verankerung auf der Bauplattform erforderlich, da diese zum einen für eine gleichmäßige Wärmeabfuhr sorgen und zum anderen das Verschieben des Bauteils durch auftretende Scherkräfte bei der Pulverschichtauftragung verhindern (LACHMAYER et al., 2016).

2.3.5.3 Elektronenstrahlschmelzen

Alternative Bezeichnungen

Electron Beam Melting (EBM®), Selektives Elektronenstrahlschmelzen

Verfahrensbeschreibung

Das Elektronenstrahlschmelzen ist von der Funktionsweise und den Materialien, die verarbeitet werden können, dem Laser-Strahlschmelzen sehr ähnlich (LACHMAYER et al., 2016). Zum Aufschmelzen des Pulvers wird anstelle eines Laserstrahls ein Elektronenstrahl verwendet (GEBHARDT, 2014). Dieser wird über Spulen fokussiert und durch eine Ablenkeinheit gesteuert. Das in Pulvertanks befindliche Metallpulver wird schichtweise auf die Bauplattform aufgetragen. Anhand der zu generierenden

Bauteilkontur wird die Pulverschicht mittels des Elektronenstrahls vollständig aufgeschmolzen (FASTERMANN, 2016). Beim Abkühlen verschmelzen und erstarren die Pulverpartikel entsprechend der vorgesehenen Bauteilgeometrie. Anschließend wird die Bauplattform um eine Schichtdicke in z-Richtung abgesenkt, eine neue Pulverschicht wird aus dem Pulvervorrat aufgetragen und anhand der vorgesehenen Geometrie mit dem Elektronenstrahl abgefahren. Die Bearbeitung mittels Elektronenstrahl erfordert ein Vakuum weshalb die Baukammer vollständig abgedichtet sein muss (GEBHARDT, 2014). Der Aufbau und die Elemente einer Elektronenstrahlschmelz-Anlage sind in **Abb. 2.13** aufgeführt.

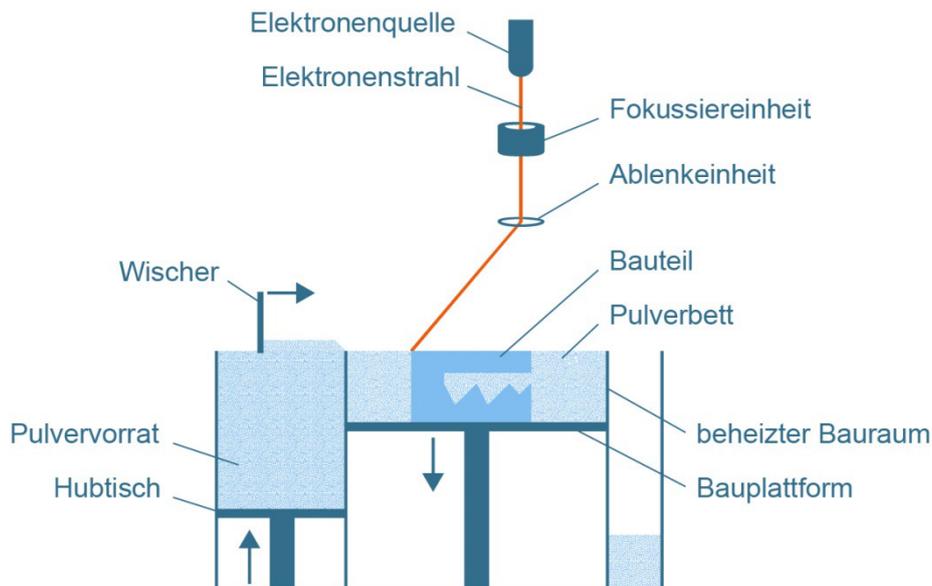


Abb. 2.13 Aufbau und Elemente einer Elektronenstrahlschmelz-Anlage

Werkstoffe

Für das Elektronenstrahlschmelzen werden sinter- und schweißgeeignete Metalle und Metalllegierungen in Pulverform verwendet (ACATECH, 2016). Hierfür bieten sich z. B. Titan oder Kobalt-Chrom an (FASTERMANN, 2016).

Nachbearbeitung

Nach der Fertigstellung und Abkühlung des Bauteils wird dieses aus dem Pulverbett entnommen. Der Abkühlvorgang kann für eine bessere Maschinenverfügbarkeit in einer separaten Abkühlkammer erfolgen. Überschüssige Pulverpartikel werden mittels Druckluft entfernt. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität wird das Bauteil mittels Mikrostrahlen, Fräsen, Schleifen oder Polieren nachbehandelt.

Anwendungsbereich

Das Elektronenstrahlschmelzen findet Anwendung bei der Herstellung von Funktionsprototypen und Endprodukten (GEBHARDT, 2016). Vorrangig wird es in der Luft- und Raumfahrtindustrie und in der Medizintechnik für die Herstellung von Implantaten verwendet (FASTERMANN, 2016).

Vorteile

Der Elektronenstrahl wird, neben dem eigentlichen Schmelzvorgang, auch für das Vorwärmen des Pulverbetts auf bis zu 1100 °C genutzt (LACHMAYER et al., 2016). Der Elektronenstrahl ermöglicht außerdem deutlich schnellere Belichtungsgeschwindigkeiten gegenüber dem Laser beim Laser-Strahlschmelzen (8000 m/s zu 10 m/s) (LACHMAYER et al., 2016). Zudem wird mit dem Verfahren eine gute Kontrolle über die Temperatur und ein hoher Wirkungsgrad des Elektronenstrahls ermöglicht (FASTERMANN, 2016).

Nachteile

Aufgrund der Tatsache, dass der Prozess in einem Vakuum stattfinden muss und dem insgesamt komplexen Aufbau, handelt es sich um ein kostenintensives Verfahren (LACHMAYER et al., 2016). Der Elektronenstrahl kann nur bis auf ca. 100 µm fokussiert werden. Dies bedingt, dass im Vergleich zu Laser-Anlagen eine schlechtere Oberflächenqualität und weniger Details erzeugt werden können (WOHLERS, 2016).

2.3.6 Schichtlaminierung (sheet lamination)

Bei der Schichtlaminierung werden Folien, Blätter oder Platten schichtweise miteinander verbunden um ein Objekt zu Formen. Das verbreitetste Verfahren dieser Prozesskategorie ist das nachfolgend vorgestellte Layer Laminated Manufacturing.

2.3.6.1 Layer Laminated Manufacturing (LLM)

Alternative Bezeichnungen

Laminated Object Modeling (LOM®), Folienlaminier-3-D-Druck, Schicht-Laminat-Verfahren

Verfahrensbeschreibung

Beim Schicht-Laminat-Verfahren wird das Werkstück durch schichtweises Laminieren aufgebaut. Dafür wird eine Lage des Laminierungsmaterials, das an der Unterseite rasterförmig mit hitzeaktivierbaren Klebstoff beschichtet ist, von einer Versorgungsrolle auf die Bauplattform abgerollt (BERGER et al., 2017). Eine beheizte Laminierrolle fährt über diese neu aufgebrachte Schicht und verbindet sie mit der vorhergehenden. Anschließend wird mit einem CO₂-Laser der Bauteilquerschnitt entsprechend der Bauteilvorgabe ausgeschnitten. Der CO₂-Laser wird über ein Linsensystem gebündelt und mit Umlenkspiegel in x- und y-Richtung gesteuert. Alternativ erfolgt die Konturierung mit einem Messer oder einem heißem Draht (FASTERMANN, 2016). Über eine Vorschubrolle auf der anderen Seite der Bauplattform wird das überschüssige Verschnittmaterial aufgerollt. Nach der Fertigstellung einer Schicht senkt sich die Bauplattform um eine Schichtdicke ab und die nächste Materialschicht wird aufgetragen. Überhänge und Hohlbereiche werden durch umliegendes überschüssiges Material gestützt, welches zur leichteren Entfernung in Würfel mit vorbestimmter Größe zerschnitten wird (vgl. **Abb. 2.14**).

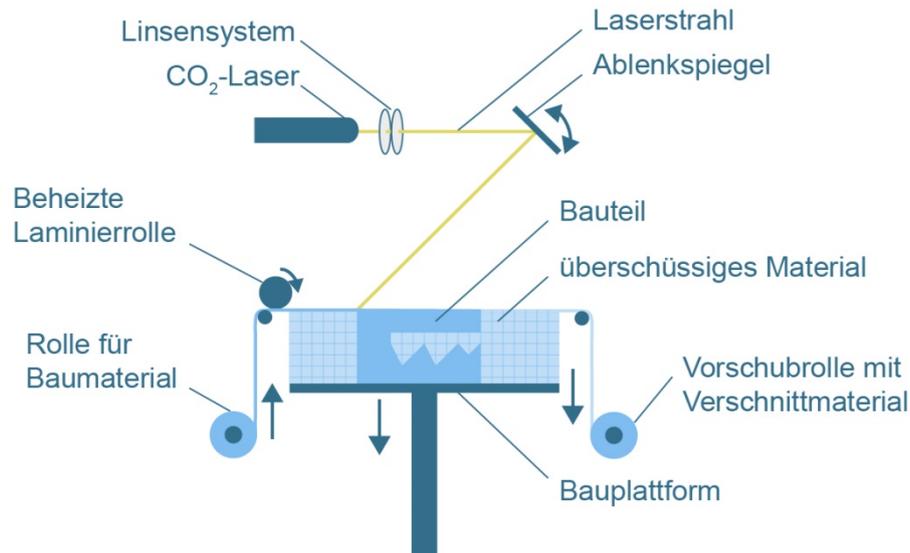


Abb. 2.14 Aufbau und Elemente einer LLM-Anlage

Werkstoffe

Für das LLM-Verfahren finden Folien aus Papier, Kunststoff, Metall oder keramischen Materialien Anwendung (FASTERMANN, 2016; GEBHARDT, 2014). Der überwiegende Teil der verfügbaren Anlagen arbeitet jedoch als papierverarbeitende Systeme (WOHLERS, 2016).

Nachbearbeitung

Das gefertigte Bauteil befindet sich umgeben von Stützmaterial in einem Block. Dieser Block muss zunächst mechanisch, thermisch oder chemisch von der Bauplatzform entfernt werden (BERGER et al., 2017). Anschließend müssen die Umrahmung und das überschüssige in Würfel geschnittene Stützmaterial mechanisch, z. B. mit einem Stichel, entfernt werden (BERGER et al., 2017).

Das entpackte Werkstück kann durch Sanden und Fräsen nachbearbeitet werden (HAGL, 2015). Durch eine Bearbeitung mit Lack wird das Bauteil isoliert und vor Quellen durch Feuchtigkeit geschützt (BERGER et al., 2017). Ein Infiltrieren des Bauteils mit Epoxidharz erhöht dessen Festigkeit und seine Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse (GEBHARDT, 2016).

Anwendungsbereich

Das LLM-Verfahren wird beim Rapid Prototyping für die Herstellung von Konzept- und Geometriemodellen genutzt. Für Anwendungen des Rapid Tooling ist es für die Erzeugung von Gießmodellen und Gießformen geeignet (FELDHUSEN et al., 2013).

Das Verfahren hat sich weniger als Allgemeinlösung bewährt, sondern wird vielmehr für spezielle Nischenanwendungen genutzt (HAGL, 2015).

Vorteile

Das LLM-Verfahren ermöglicht durch geringe Materialkosten eine kostengünstige Herstellung von massiven Bauteilen (FELDHUSEN et al., 2013). Das Verfahren gewährleistet durch das schnelle Aufbauen der Schichten eine zügige Verarbeitung (HAGL, 2015).

Nachteile

Das Entpacken des Bauteils aus dem umliegenden Stützmaterial ist aufwendig. Ebenso sind z. T. mehrere Nachbehandlungsvorgänge zur Versiegelung des Bauteils notwendig (FELDHUSEN et al., 2013). In Abhängigkeit von der Anordnung und Größe des zu fertigenden Bauteils fallen große Mengen an Abfall an (FASTERMANN, 2016). Das Verfahren ist weniger für dünnwandige Bauteile und solche mit hohen Anforderungen an die Maßhaltigkeit und Detailgenauigkeit geeignet (FELDHUSEN et al., 2013).

2.3.7 Gerichtete Energieeinbringung (directed energy deposition)

2.3.7.1 Laserauftragsschweißen

Alternative Bezeichnungen

Direct Metal Deposition (DMD[®]), Laser Metal Forming (LMF), Laser Engineered Net Shape (LENS), Wire + Arc Additive Manufacturing (WAAM)

Verfahrensbeschreibung

Beim Laserauftragsschweißen wird Metallpulver über Düsen, bzw. Metalldraht über eine Drahtzuführung, mithilfe eines Inertgasstroms direkt in ein lokales Schmelzbad eingebracht (GEBHARDT, 2016). Das Schmelzbad wird durch einen Hochleistungslaserstrahl erzeugt. Die Bildung der Schicht erfolgt durch das Erstarren der Schmelze in Folge von Wärmeleitung in vorhergehende Bauteilschichten. Für die Gewährleistung der erforderlichen Präzision werden Spiegel- und Linsensysteme zur korrekten Steuerung und Dosierung des Laserstrahls eingesetzt. Der Schmelzvorgang ist punktuell ausgerichtet und die Fertigungsbühne bewegt sich entlang der x-y-Achse schichtweise nach oben (HAGL, 2016). Für die Erzeugung komplexer Geometrien werden Stützstrukturen benötigt (GIBSON et al., 2015). Der prinzipielle Verfahrensaufbau ist in nachfolgender **Abb. 2.15** aufgezeigt.

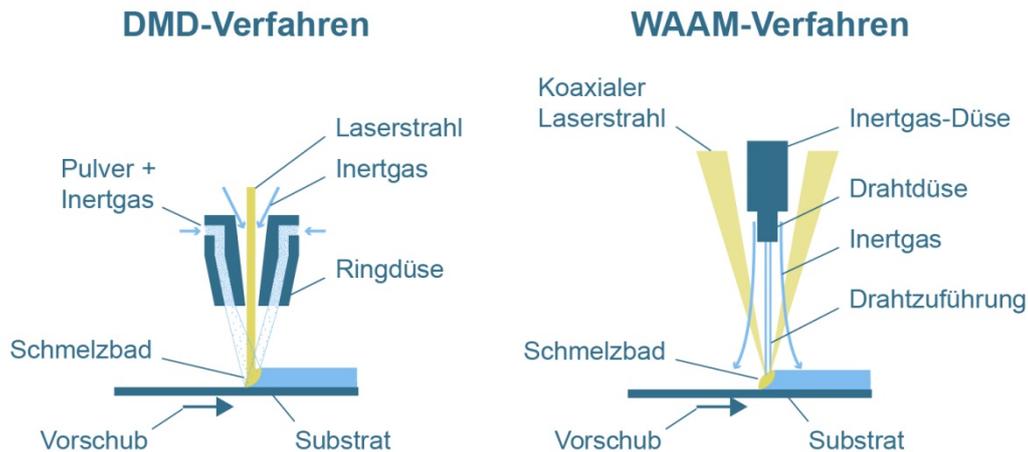


Abb. 2.15 Aufbau und Elemente beim pulver- bzw. drahtbasierten Laserauftragsschweißen

Werkstoffe

Für das Laserauftragsschweißen werden üblicherweise Eisen-, Kobalt- oder Nickelbasislegierungen, Aluminium, oder Titanlegierungen verwendet (LACHMAYER et al., 2016; GEBHARDT, 2016; HAGL, 2015).

Nachbearbeitung

Sofern Stützstrukturen erzeugt wurden, müssen diese in einem ersten Schritt mechanisch entfernt werden. Eine materialspezifische Wärmebehandlung kann in Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatzzweck des Bauteils erforderlich sein. Ebenso eine spanende Nachbearbeitung wie z. B. Fräsen oder Schleifen. Durch abschließendes Polieren wird die Oberflächenqualität des Bauteils erhöht.

Anwendungsbereich

Das Laserauftragsschweißen wird hauptsächlich für Reparaturanwendungen verwendet und weniger für die Herstellung von Bauteilen (LACHMAYER et al., 2016). Besonders in der Luft- und Raumfahrt wird es zur Reparatur von großen Bauteilen, z. B. aus Titan, verwendet (HAGL, 2015). Es eignet sich jedoch auch zur Herstellung von großvolumigen Metallendprodukten und -werkzeugen (HAGL, 2015).

Vorteile

Mittels Laserauftragsschweißen erzeugte oder reparierte Bauteile verfügen über eine hohe Dichte und gute metallurgische und mechanische Eigenschaften (FASTERMANN, 2012). Durch den Einsatz pulverförmiger Materialien können Materialmischungen zugeführt werden (HAGL, 2015). Auch die Verwendung verschiedener Materialien in einem Bauprozess ist möglich (WOHLERS, 2016). Die erzeugten Objekte sind von ihren Eigenschaften mit denen konventionell gefertigter vergleichbar (HAGL, 2015). Durch ihre hohe Dichte besitzen sie zudem eine hohe Oberflächengüte (GEBHARDT, 2016). Das Verfahren ermöglicht die Bearbeitung von Freiformflächen und das Aufbringen des Materials auf beliebige Strukturen und zu reparierende Bauteile (LACHMAYER et al., 2016).

Nachteile

Das Laserauftragsschweißen ist u.a. aufgrund des benötigten hohen Energiebedarfs ein verhältnismäßig teures Verfahren. Zudem sind meist mechanische Nachbearbeitungsschritte, zur Entfernung der Stützstrukturen und zur Herstellung der finalen Bauteileigenschaften, erforderlich (HAGL, 2015).

2.3.8 Zusammenfassung der einzelnen additiven Fertigungsverfahren

Für eine übersichtliche Darstellung der Informationen zu den verschiedenen additiven Fertigungsverfahren wurden Steckbriefe zu den einzelnen, in Abschnitt 2.1.4 bis 2.1.10 vorgestellten, Verfahren erstellt. Insbesondere für die Zusammenstellung der Informationsschriften (vgl. Abschnitt 7) ist so eine einheitlich strukturierte Übersicht gewährleistet. Die einzelnen Steckbriefe sind nach den folgenden Punkten gegliedert:

- Name des Verfahrens
- Bildliche Darstellung des Verfahrens
- Kurzinformationen
- Verfahren
- Werkstoffe
- Nachbearbeitungsprozess
- Anwendungsbereiche
- Beispielprodukte
- Beispielbilder
- Potenzielle Gefährdungen (mit Informationen aus Arbeitspaket 4)

Die Steckbriefe zu den verschiedenen Verfahren sind wie nachfolgend aufgelistet dem Bericht beigelegt:

- Anhang 4 Steckbrief Stereolithografie
- Anhang 5 Steckbrief Digital Light Processing
- Anhang 6 Steckbrief Fused Layer Modeling
- Anhang 7 Steckbrief Multi-Jet Modeling
- Anhang 8 Steckbrief Poly-Jet Modeling
- Anhang 9 Steckbrief 3-D-Drucken
- Anhang 10 Steckbrief Laser-Sintern
- Anhang 11 Steckbrief Laser-Strahlschmelzen
- Anhang 12 Steckbrief Elektronenstrahlschmelzen
- Anhang 13 Steckbrief Layer Laminated Manufacturing
- Anhang 14 Steckbrief Laserauftragsschweißen

2.4 Industrienwendungen

Die additiven Fertigungsverfahren kommen in verschiedenen Industriezweigen zum Einsatz. Nachfolgend wird überblicksweise die jeweilige typische Nutzung der additiven Fertigungsverfahren aufgeführt:

- Luft- und Raumfahrt
 - Herstellung von Leichtbauteilen und komplexen Geometrien
 - Herstellung von Ersatzteilen und Kunststoffteilen (z. B. Clipse)
- Automobilbau
 - Nutzung zu Zwecken des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
 - Herstellung von Leichtbauteilen
- Medizintechnik
 - Herstellung von individualisierten Produkten (z. B. Hörgeräteschalen, Zahnspangen oder Implantate)
 - Herstellung von technischen Medizingeräten (z. B. Operationsbesteck)
- Werkzeugbau
 - Herstellung von Werkzeugen mit konstruktiven Optimierungen (z. B. innenliegende Kühlsysteme)
- Gießereiwesen
 - Herstellung von Modellen und Formen (z. B. Urmodelle für Folgeprozesse)
- Schmuckindustrie
 - Herstellung von Schmuckstücken mit Unikatcharakter unter Verwendung von Feingussmodellen oder direkter additiver Fertigung
- Design, Kunst und Architektur
 - Herstellung von Design- oder Kunstobjekten (z. B. Möbelstücke)
 - Herstellung von Architekturmodellen
- Konsumgüterindustrie
 - Herstellung von Zubehörkomponenten der Konsumelektronik
 - Herstellung individualisierter Produkte (z. B. Brillengestelle oder Sportschuhe)

2.5 Zu erwartende Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung

In naher Zukunft ist im Bereich der additiven Fertigung vorrangig mit einer Weiterentwicklung der verwendbaren Materialien und der erzielbaren Materialeigenschaften zu rechnen (WOHLERS, 2016; ACATECH, 2016). Die Verwendung unterschiedlicher Materialien in einem Bauprozess lässt neue Anwendungsfelder erschließen (GEBHARDT, 2016). Es ist damit zu rechnen, dass die Maschinenhersteller ihre Anlagen branchenspezifisch weiterentwickeln werden (z. B. für Anwendungen in der Medizintechnik) (GEBHARDT, 2016). Auch die Integration additiver Fertigungsverfahren in bestehende Fertigungsprozesse (GEBHARDT, 2016) und die Erhöhung des Automatisierungsgrades (ACATECH, 2016) wird zunehmend eine Rolle spielen.

Die Verbesserung der Produktivität der additiven Fertigungsverfahren und der erzielbaren Oberflächenqualitäten und Toleranzen macht die Verfahren zunehmend für Anwendungen des Rapid Manufacturing und die Herstellung großer Volumen interessant (GEBHARDT, 2016; WOHLERS, 2016).

Zusammenfassung zu AP 1:

In diesem Arbeitspaket wurde nach der Beschreibung des Grundprinzips der additiven Fertigung eine Systematisierung der Verfahren nach ihren Merkmalen vorgenommen. Die Systematisierung der Verfahren nach der Art der Stützkonstruktionen wird im Rahmen der Risikobetrachtung der Verfahren in Arbeitspaket 4 von Bedeutung sein. Die Erläuterung der 3-D-Druckverfahren wurde auf jene Verfahren beschränkt, die gemäß ausgewerteter Literaturquellen als kommerzialisiert und in der Anwendung verbreitet gelten. Ein Überblick über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der additiven Fertigung in der Industrie zeigt deren Bedeutung und Relevanz für unterschiedlichste Anwendungsgebiete auf.

Nachfolgend werden fünf Szenarien skizziert:

Szenario 1

Ein Verwender eines 3-D-Druckers entwirft selbst und eigenständig ein Produkt (z. B. Figur für ein Fantasy-Spiel aus Kunststoff und/oder Metall). Die Figur wird am heimischen 3-D-Drucker „gedruckt“ (= hergestellt) und über eine Internetplattform (z. B. ebay) verkauft.

Das Produkt wird rege nachgefragt. Der Verwender druckt regelmäßig neue Figuren und bietet diese zum Verkauf an und verkauft diese auch. Wird der Verwender des 3-D-Druckers zum Hersteller von Produkten im Sinne des ProdSG?

1. Abwandlung:

Ändert sich etwas, wenn der Verbraucher die Figur nur einmalig ausdrucken und verkaufen will?

2. Abwandlung:

Frau X hat die Figur gekauft und ihr minderjähriger Sohn Max verschenkt diese zum Spielen auf einem Kindergeburtstag an Moritz. Es stellt sich heraus, dass Moritz erkrankt. Im Rahmen der Untersuchung der möglichen Ursachen, kommt man zum Ergebnis, dass Moritz bereits mehrere dieser Figuren besitzt und sich darin offensichtlich unzulässige gesundheitsschädliche Weichmacher befinden.

Aufgrund eines Fehlers im Produkt (z. B. Einsatz ungeeigneter erworbener Filamente oder selbst hergestellter Kunststoff-Filamente mit Weichmachern/Chemikalien als Druckmaterial) kommt so ein Mensch zu Schaden.

Szenario 2

Ein Verwender eines 3-D-Druckers erwirbt aus dem Internet von einer Internetplattform rechtmäßig eine Druckvorlage für ein Produkt (Spielfigur oder Lampenschirm). Er lädt die Druckvorlage herunter, um damit das Produkt am heimischen 3-D-Drucker zu „drucken“ (= herstellen). Er will das Produkt für den Eigengebrauch drucken. Wird der Verwender des 3-D-Druckers zum Hersteller von Produkten im Sinne des ProdSG?

1. Abwandlung:

Die Druckvorlage wird auf einer Open-Source-Plattform erworben. Es handelt sich dabei um Software, genauer gesagt um den Quellcode, der öffentlich zugänglich ist und von Dritten (meist kostenlos) beliebig kopiert, eingesehen, genutzt und verändert werden darf.

Es ist nicht festzustellen, wer die Druckvorlage entworfen und angefertigt hat und ob sie rechtmäßig erworben wurde. Der Verwender des 3-D-Druckers druckt das Produkt für sich selbst am heimischen Drucker aus.

2. Abwandlung:

Der Verwender eines 3-D-Druckers erwirbt von einer Plattform eine Druckvorlage. Allerdings nimmt er an der erworbenen Druckvorlage selbstständig Änderungen vor.

Szenario 3

Ein Verwender eines 3-D-Druckers erstellt selbstständig eine Druckvorlage für ein Objekt und stellt diese auf einer Open-Source-Plattform zum Download bereit. Die Druckvorlage wurde durch einen 3-D-Scan erstellt. Wird der Verwender des 3-D-Druckers bzw. der Ersteller der Druckvorlage zum Hersteller von Produkten im Sinne des ProdSG?

Szenario 4

Der Verwender eines 3-D-Druckers druckt (= erstellt) ein Ersatzteil (z. B. für sein Fahrrad), welches in kritischer Situation versagt und ein Dritter kommt dadurch zu Schaden. Die Druckvorlage wurde durch den Verwender mittels eines 3-D-Scans erzeugt und das Teil durch einen Dienstleister (Auftragsdruck) hergestellt.

- Wer ist für den eingetretenen Schaden wie haftbar?

Abwandlung:

Der Verwender eines 3-D-Druckers wechselt bei einem bestehenden Produkt (z. B. Fahrrad) ein Teil, welches nach seiner Druckvorlage per Auftragsdruck angefertigt wurde. Das Fahrrad wird anschließend durch den Verbraucher als Gebrauchtware verkauft.

- Wird der Verwender eines 3-D-Druckers damit zum Hersteller nach ProdHaftG bzw. kann er für den eingetretenen Schaden haftbar gemacht werden?

Szenario 5

Ein Verwender eines 3-D-Druckers verleiht seinen 3-D-Drucker (= Verleiher) an einen Dritten (= Entleiher) bzw. stellt ihn leihweise zur Nutzung durch einen Dritten bereit. Was gilt es zu beachten?

Abwandlung:

Kann der Verwender eines 3-D-Druckers für ein Druckobjekt, das anhand einer illegal erworbenen Druckvorlage durch einen Dritten hergestellt wurde, haftbar gemacht werden?

3.2 Szenarien und Problemfelder aus Sicht der Marktüberwachung

Nachfolgend werden potenzielle Problemfelder und Szenarien die sich im Zusammenhang mit der additiven Fertigung aus Sicht der Marktüberwachung ergeben können aufgeführt.

3-D-Drucker / additive Fertigungsanlagen

- Baukästen für den Selbstbau von 3-D-Druckern oder Anleitungen für den Bau von 3-D-Druckern (vorrangig verwendet in der Maker-Szene) machen die Technik einfach zugänglich. Folglich finden sich bei den Verwendern von 3-D-Druckern oft selbst zusammengebaute Drucker die ggf. auch weiterverkauft werden.

- Die Verwendung von 3-D-Druckern erfolgt auch in Schulen z. B. zur Erstellung von Anschauungsobjekten oder Unterrichtsmaterialien. Ein sicherer Betrieb muss gewährleistet sein und von den erzeugten Objekten dürfen keine Gefahren ausgehen.
- Ein sicherer Betrieb bei der Ausstellung und Vorführung von additiven Fertigungsanlagen, z. B. im Rahmen von Messen, muss sichergestellt sein. Gefahren, die von den Anlagen in Abhängigkeit von dem zugrundeliegenden Fertigungsprinzip ausgehen können, sind z. B.:
 - Optische Strahlung
 - Gesundheitsschädliche Dämpfe
 - Lungen- und alveolengängige Pulverpartikel
- Bei der gewerblichen Vermietung von 3-D-Druckern oder der Bereitstellung von Druckern zur allgemeinen Verfügung, z. B. im Rahmen sogenannter FabLabs, muss ein sicherer Betrieb und der bestimmungsgemäße Gebrauch gewährleistet werden.

Druckmaterial / Werkstoff

- Von Druckmaterialien, die u. a. durch Verbraucher bei Fabbern eingesetzt werden, können Gesundheitsrisiken ausgehen (z. B. Entstehung giftiger Dämpfe bei der Verwendung von ABS-Filamenten).
- Die Verbreitung von fehlerhaften bzw. kompatiblen Druckerpatronen oder Filamentspulen auf dem Markt ist denkbar. Bisher sind keine einheitlichen Qualitätsvorgaben für Druckmaterial vorhanden.
- Die Materialeigenschaften der Druckmaterialien sind teilweise unbekannt bzw. es gibt keine Vorgaben oder Standards.
- Die Verunreinigung offener Materialien (z. B. Pulver, Harz) ist möglich.

Druckobjekt / Produkt

- Ein Dienstleister, der im Auftrag verschiedener Kunden verschiedene Produkte additiv fertigt und als Hersteller gilt, muss Konformität gemäß der zugehörigen Rechtsgebiete gewährleisten (z. B. Maschinenrichtlinie, Spielzeugrichtlinie, Medizinproduktegesetz) und eine entsprechende Zuordnung der Produkte vornehmen können.
- Es gibt CAD-Datensätze, die über Internetplattformen erworben werden können und das Kopieren bestehender Produkte (z. B. LEGO-Steine) ermöglichen.
- Produkte können durch Reverse Engineering (z. B. 3-D-Scan) und additive Fertigung schnell und originalgetreu nachgebaut werden und sind ggf. vom Original kaum zu unterscheiden.
- Es kann durch eine Privatperson erzeugte Produkte geben, die diese erstmalig auf dem Markt bereitstellt. Mangelnde Kenntnisse über die damit verbundenen Anforderungen und Pflichten können damit einhergehen.
- Ein illegaler Erwerb von geschützten Druckvorlagen wird durch Internetplattformen ermöglicht.

- Bei einer Vor-Ort-Fertigung von Prototypen (z. B. auf Messen), die Sicherheitsanforderungen noch nicht erfüllen, kann eine Gefährdung der das Produkt verwendenden Personen möglich sein.
- Die additive Fertigung von ggf. sicherheitsrelevanten (Ersatz-) Teilen (z. B. für Fahrrad oder Auto) und Vertrieb über das Internet kann sich als Geschäftsmodell etablieren. Gefahren durch unbekannte Materialeigenschaften und Versagen in kritischer Situation ist möglich.
- Die additive Fertigung ermöglicht die kurzfristige Herstellung von Werkzeugen und Arbeitsmitteln im eigenen Unternehmen, entsprechende Sicherheitsanforderungen müssen dennoch eingehalten werden.
- Produktfälschungen sind durch additive Fertigungsverfahren schneller, besser und einfacher möglich. Zudem müssen diese nicht den Zoll passieren, da eine Fertigung in Deutschland bzw. der EU kostengünstig möglich ist.
- additiv gefertigte Produkte (z. B. Spielzeug oder Schmuck) können durch die verwendeten Materialien eine Gefährdung darstellen (z. B. allergische Reaktionen hervorrufen).

Bereitsteller auf dem Markt

- Hersteller sind durch arbeitsteilige Prozesse schwerer zu identifizieren, so wirken z. B. Kunden im Sinne des Customizing aktiv in der Produktgestaltung mit.
- Unternehmensinternes additives Fertigen von Produkten nach 9. ProdSV und anschließende Inbetriebnahme, Produkte wurden zuvor von externen Lieferanten bezogen.
- Niedrigschwelliger Eintritt von neuen Produzenten durch relativ geringe Einstiegskosten, neuartige Geschäftsmodelle werden ermöglicht. Verbraucher/Start-ups sind u. U. jedoch nicht mit den Anforderungen an die Bereitstellung von Produkten vertraut.

Szenarien

Nachfolgend werden Szenarien skizziert, die ggf. Handlungsbedarf seitens der Marktaufsicht auslösen:

- Ein Verwender eines 3-D-Druckers stellt ein Produkt (z. B. Sammelfigur) am heimischen 3-D-Drucker her und verkauft es über eine Internetplattform. Die Fertigung und der Verkauf erfolgen als Hobby, jedoch wird die Figur fortlaufend verkauft.
 - Ab wann wird der Verwender des 3-D-Druckers zum Bereitsteller von Produkten am Markt?
 - Beginnt die Geschäftstätigkeit erst mit der Anmeldung eines Gewerbes? Wie verhält es sich bei Vereinen, Organisationen?
- Auf einer Messe werden durch einen Hersteller von 3-D-Druckern vor-Ort Objekte gedruckt und an Messebesucher ausgegeben. Die zu druckenden Objekte wurden zuvor durch einen 3-D-Scanner erfasst und anhand der generierten Geometrie gedruckt.
 - Ist jedes der individuell gefertigten Objekte ein Produkt nach ProdSG?

- Eine CAD-Datei mit der Druckvorlage für ein Spielzeug wird über eine Internetplattform gegen geringe Gebühr zum Download angeboten. Der Verwender eines 3-Druckers druckt anhand der Vorlage das Spielzeug, dieses weist scharfe Kanten und somit eine Verletzungsgefahr auf.
 - Ist die CAD-Datei als Produkt zu betrachten?
- Ein gefährliches Produkt, das durch arbeitsteilige Prozesse mittels 3-D-Druck hergestellt wurde, befindet sich auf dem Markt.
 - Anhand welcher Merkmale kann die Identifizierung des Herstellers bei arbeitsteiligen Prozessen erfolgen (Erstellung CAD-Datei → additive Fertigung anhand erhaltener CAD-Datei → Zusammenbau additiv gefertigter Teile zu Endprodukt → Bereitstellung Endprodukt auf dem Markt)?
- Ein durch einen Verein in einem FabLab zur öffentlichen Nutzung bereitgestellter 3-D-Drucker wurde anhand eines Baukastens zusammengebaut.
 - Muss die Konformität des Druckers mit 9. ProdSV nachgewiesen werden? Wer ist dafür verantwortlich?

3.3 Szenarien und Problemfelder aus Sicht der Hersteller

Nachfolgend werden Szenarien und Problemfelder aufgeführt, die aus Sicht der Hersteller von 3-D-Druckern relevant sind.

- Durch die manuelle Entfernung von den durch die Maschine generierte Stützkonstruktionen des gedruckten Objekts entsteht ein Verletzungsrisiko.
- Kompakte 3-D-Drucker können in verschiedensten Arbeitsumgebungen (z. B. ohne Lüftungsmöglichkeit) aufgestellt werden, der sichere Betrieb muss dennoch gewährleistet werden.
- Die Nutzer von 3-D-Druckern können Personen ohne Vorkenntnisse bei der Bedienung derartiger Maschinen sein (z. B. im Rahmen von Lehre, Aufstellung in FabLabs etc.). Die Gestaltung der Bedienelemente und des Arbeitsprozesses muss dem gerecht werden.
- Die Nutzung pulververarbeitender Systeme kann durch Anwender ohne Vorkenntnisse auf diesem Gebiet und den damit verbundenen Vorschriften und Vorgehensweisen erfolgen. Für Hinweise und ggf. Schulung sollte gesorgt werden.
- Beim Verkauf von Baukästen für 3-D-Drucker muss die Konformität sichergestellt werden. Wie kann weiterhin sichergestellt werden, dass der verwendungsfertige Drucker, der durch den Kunden zusammengebaut wurde, mit dem geprüften Baumuster übereinstimmt?
- Eine additive Fertigungsanlage wird mit anderen als die durch den Hersteller ausgewiesenen Druckmaterialien betrieben.
 - Wer übernimmt Haftung bei eintretenden Schäden?
 - Garantieverlust durch Verwendung kompatibler Kartuschen?
 - Wie kann diese Fehlanwendung ausgeschlossen werden?

- Für das Betreiben eines 3-D-Druckers mit den vom Hersteller ausgewiesenen Materialien wird keine Absaugeinrichtung benötigt. Durch den Verbraucher werden alternative Verbrauchsmaterialien verwendet wodurch giftige Dämpfe und damit eine Gesundheitsgefährdung entsteht.
 - Reicht der Hinweis durch den Hersteller aus oder ist dies als vorhersehbare Fehlanwendung zu betrachten, der mit technischen Maßnahmen begegnet werden muss?
- Durch neue Benutzergruppen und Anwender ist für ein umfassendes Sicherheitskonzept mit vorrangig technischen Schutzmaßnahmen zu sorgen.
- Für die Gestaltung der Wartungs- und Reinigungsarbeiten sollte die potenzielle Nutzgruppe der Maschine und deren Vorkenntnisse beachtet werden.
- Können gegen den Anlagenhersteller Haftungsansprüche geltend gemacht werden, wenn durch seine verkauften Maschinen urheberrechtlich geschützte Werke nachgebaut werden?
- Es ist zu berücksichtigen, dass Nutzer u. U. nicht über ein Arbeitsschutzkonzept oder Arbeitsschutzbeauftragte verfügen.

3.4 Expertenbefragung

Für die praxisnahe Erfragung aktuell verwendeter Technologien sowie die Erschließung weiterer Szenarien und Problemfelder und ggf. auch Risiken auf dem Gebiet der additiven Fertigung wurden Interviewleitfäden für die Befragung von Experten erstellt. Die Leitfäden wurden für zwei verschiedene Zielgruppen aufbereitet:

- Verwender von 3-D-Druckern/additiven Fertigungsverfahren
- Verbände, Forschung und Wissenschaft

Als Anhang 15 ist beispielhaft der Interviewleitfaden für die Befragung von Verbänden, Forschung und Wissenschaft beigefügt.

Insgesamt wurden sechs Experten aus der Wissenschaft und aus der 3-D-Druck Praxis interviewt. Die Erkenntnisse der Interviews wurden in die Beschreibung der Problemfelder und Szenarien in den Abschnitten 3.1 bis 3.3 integriert. In den Expertenbefragungen gesammelte Erkenntnisse sowie praxisnahe Beispiele, z. B. hinsichtlich Sicherheitsaspekten, wurden in die Informationssammlung aufgenommen.

4 Ableitung rechtlicher Anforderungen (AP 3)

In diesem Kapitel erfolgt im ersten Abschnitt ein Überblick zu den sicherheitsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für die 3-D-Drucktechnologie allgemein und im zweiten Abschnitt ein Überblick zu den ordnungsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für die mittels 3-D-Druck hergestellten Produkten im Speziellen.

Der dritte Abschnitt widmet sich ergänzend dem Produkthaftungsrecht und im vierten Abschnitt werden die im vorherigen Kapitel in Abschnitt 3.1 aufgeführten Szenarien aufgegriffen. Es wird jeweils dargelegt, welche rechtlichen Anforderungen bestehen und inwiefern die Verwender von 3-D-Druckern zu Herstellern im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes werden können.

4.1 Überblick zu den sicherheitsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für Hersteller, Einführer, Händler, Aussteller und sonstige an der Bereitstellung von 3-D-Druck-Technologie beteiligten Personen

Der 3-D-Druck ist eine additive Fertigungstechnologie mit teils bekannten und teils neuen Sicherheitsrisiken bei der Herstellung und beim Betrieb bzw. der Nutzung von Geräten/Maschinen zum 3-D-Druck und der Bereitstellung der durch sie hergestellten Produkte, unabhängig, ob dies gewerblich oder privat erfolgt. Nachfolgend werden die Anforderungen nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und den dazugehörigen Verordnungen des ProdSG bezogen auf das Bereitstellen von 3-D-Drucktechnologie auf dem Markt aufgeführt und zusammenfassend erläutert.

4.1.1 Anwendbarkeit des ProdSG

Das ProdSG ist anwendbar, wenn nach § 1 Abs.1 ProdSG eine Bereitstellung, Ausstellung oder erstmalige Verwendung von Produkten im Rahmen einer Geschäftstätigkeit auf dem Markt erfolgt.

Gemäß § 2 Ziffer 22 ProdSG sind **Produkte** Waren Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind. Das Gesetz stellt damit die aufsichtsbehördliche Rückverfolgbarkeit bei im Feld auftretenden Sicherheitsmängeln über die gesamte Wertschöpfungs- und Händlerkette der an der Produkterstellung und -bereitstellung beteiligten Wirtschaftsakteure vom betroffenen Endprodukt bis zur Quelle (ggf. Zulieferteil) der im Feld aufgetretenen Produktgefahr sicher.

Bei 3-D-Druckern, Bausätzen für 3-D-Drucker und bei den einzelnen Bauteilen der 3-D-Drucktechnik sind das ProdSG und die dazugehörigen spezialgesetzlichen Verordnungen danach ohne weiteres anwendbar.

Das Gesetz erfasst alle Produkte, d.h. Verbraucherprodukte ebenso wie Produkte zur gewerblichen Nutzung, verwendungsfähige Endprodukte, aber auch alle dazugehörigen selbst noch nicht verwendungsfähigen Zuliefererprodukte.

Die Einfuhr von Waren, die aus einem Staat außerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums stammen, ist ein Bereitstellen auf dem Markt, es steht dem Inverkehr-

bringen gemäß § 2 Ziffer 15 ProdSG gleich, welches als erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt definiert wird.

Bei gebrauchten Produkten, die wiederaufgearbeitet werden müssen, ist das ProdSG nicht anwendbar, wenn der Wirtschaftsakteur gemäß § 1 Abs. 3 Nr. 2 ProdSG denjenigen, an den sie abgegeben werden, darüber ausreichend unterrichtet. Damit wird die vom Hersteller ursprünglich vorgesehene bestimmungsgemäße Verwendung des gebrauchten Produkts ausdrücklich aufgehoben und im rechtlichen Sinne „Schrott“ verkauft.

4.1.2 Bereitstellung im Rahmen einer Geschäftstätigkeit i. S. d. ProdSG

Bereitstellung von 3-D-Drucktechnik am Markt gemäß § 2 Ziffer 4 ProdSG bedeutet, dass eine entgeltliche oder auch eine unentgeltliche Abgabe zum Vertrieb, Verbrauch oder zur Verwendung auf dem Markt der Europäischen Union erfolgt.

Die Bereitstellung ist ein tatsächlicher Akt und kein rechtlicher Vorgang. Wesentlich ist der Wechsel der tatsächlichen Sachherrschaft, es kommt dabei nicht auf die rechtlichen Eigentums-, sondern auf die Besitzverhältnisse an.

Bereitstellung im Sinne des ProdSG ist somit nicht nur beim Verkauf von 3-D-Drucktechnologie, sondern auch beim Verleih, beim Verschenken oder auch sonstigen Bereitstellen zur Nutzung durch Dritte, z. B. beim Betrieb eines 3-D-Drucker-Copyshops gegeben.

Die Bereitstellung von 3-D-Drucktechnologie allein für private Zwecke zum Eigengebrauch oder durch Dritte wird nicht vom ProdSG erfasst. Die **Bereitstellung** muss gemäß § 1 ProdSG im Rahmen einer **Geschäftstätigkeit** erfolgen, wobei im Interesse des Verwenderschutzes der Begriff der Geschäftstätigkeit im Kontext des Produktsicherheitsrechts weit auszulegen ist. Nach den vom Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik herausgegebenen Leitlinien zum ProdSG (3. Auflage 2013) ist hierunter

„nach den allgemeinen gewerblichen Grundsätzen (...) jedes von einer natürlichen oder juristischen Person (einschließlich gemeinnütziger Vereine) vorgenommene Bereitstellen, Ausstellen oder erstmaligen Verwenden von Produkten zur Erreichung eines wirtschaftlichen Zwecks zu verstehen, wenn hierdurch eine Teilnahme am Wirtschaftsverkehr stattfindet. Die Absicht der Gewinnerzielung ist dabei nicht erforderlich.“

Andererseits dürfte auch nicht jede Form des Bereitstellens von Produkten mit Gewinnerzielungsabsicht eine Geschäftstätigkeit bzw. ein Bereitstellen auf dem Markt im Sinne des ProdSG darstellen. Der nur gelegentliche private Verkauf oder das gelegentliche, ggf. auch kostenpflichtige Verleihen von 3-D-Drucktechnik außerhalb einer Gewerbes bzw. einer unternehmerischen/betrieblichen Tätigkeit stellt insofern regelmäßig keine vom ProdSG umfasste Geschäftstätigkeit auf dem Markt dar (vgl. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik – Leitlinien zum ProdSG 3. Auflage 2013).

Allerdings sind die Grenzen fließend und ein anfangs noch im privaten Bereich liegender, aber immer intensiver werdender Online- oder Flohmarkthandel mit Produk-

ten kann auch unabhängig davon, ob ein Gewerbe angemeldet wurde bzw. ein Unternehmen vorhanden ist, zum geschäftsmäßigen Handeln im Sinne des ProdSG führen. Die genaue Grenze ist stets unter Berücksichtigung aller Umstände des konkreten Einzelfalls zu bestimmen (Klindt ProdSG, 2. Auflage 2014 § 1 Rn. 32 mit weiteren Nachweisen).

Wird die Grenze zu einem geschäftsmäßigen Bereitstellen auf dem Markt überschritten, wird der Handelnde zum Wirtschaftsakteur im Sinne des ProdSG und ihn treffen die gleichen öffentlich-rechtlichen Pflichten, wie einen Gewerbetreibenden bzw. ein Unternehmen (Hersteller, Einführer, Aussteller oder Händler).

Alle jeweiligen gesetzlich im ProdSG und den dazugehörigen spezialgesetzlichen Verordnungen zum ProdSG geregelten Pflichten beim Bereitstellen von sicheren Produkten auf dem Markt sind abhängig von der jeweiligen Rolle, die der Bereitsteller als Wirtschaftsakteur ausübt.

Besonders weitgehende Pflichten treffen den Wirtschaftsakteur als Hersteller oder Einführer von Produkten, aber auch der „nur“ als Aussteller oder Händler zu qualifizierende Bereitsteller von Produkten ist umfangreichen gesetzlichen Pflichten ausgesetzt und hat darüber hinaus auch erhebliche Haftungs- und ggf. sogar Strafbarkeitsrisiken, wenn von ihm Produkte auf dem Markt bereitgestellt werden, die nicht die geforderten Sicherheitsmaßstäbe erfüllen. Mit der Rolle als Wirtschaftsakteur wird er auch Adressat von aufsichtsbehördlichen Maßnahmen, die bei Verstößen gegen das Produktsicherheitsrecht bis zu empfindlichen Bußgeldern reichen können.

Das bedeutet z. B., dass der Händler vor der Abgabe von Produkten nicht nur Wareneingangsprüfungspflichten hat und u.a. darauf achten muss, dass eine Kundendokumentation (Montage-, Betriebsanleitung etc.) in deutscher Sprache beiliegt, sondern nach der Abgabe der Produkte trifft ihn auch eine sog. passive Pflicht zur Produktbeobachtung und unter Umständen eine Pflicht zum Rückruf und zur Meldung bzw. Anzeige gegenüber den zuständigen Marktüberwachungsbehörden.

4.1.3 Wirtschaftsakteure gemäß ProdSG

Das ProdSG gilt für den geschäftsmäßig handelnden **Aussteller, Händler, Einführer und Hersteller** von Produkten.

Ausstellen wird gemäß § 2 Ziffer 2 ProdSG als Anbieten, Aufstellen oder Vorführen von Produkten zu Zwecken der Werbung oder zur Bereitstellung auf dem Markt definiert.

Hersteller (§ 2 Ziffer 14 ProdSG) *„ist jede Person, die ein Produkt herstellt oder entwickelt oder herstellen lässt und dieses Produkt unter ihrem eigenen Namen oder ihrer eigenen Marke vermarktet; als Hersteller gilt auch jeder, der*

- a) *geschäftsmäßig seinen Namen, seine Marke oder ein anderes unterscheidungskräftiges Kennzeichen an einem Produkt anbringt und sich dadurch als Hersteller ausgibt oder*

- b) *ein Produkt wiederaufarbeitet oder die Sicherheitseigenschaften eines Verbraucherproduktes beeinflusst und dieses anschließend auf dem Markt bereitstellt.“*

Einführer ist jede im EWR ansässige Person, die Produkte aus einem Staat, der nicht zum EWR gehört, in den Verkehr bringt (§ 2 Ziffer 8 ProdSG). Damit wird der Einführer dem Hersteller rechtlich gleichgestellt. Dies ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Definitionen in § 2 Ziffern 6, 8 und 14 ProdSG. Das Gesetz stellt damit sicher, dass für jedes auf dem Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit bereitgestellte Produkt ein für die Herstellung Verantwortlicher vorhanden ist. Werden Produkte von außerhalb des EWR eingeführt und auf dem Markt bereitgestellt, ist der Einführer für die geforderte Sicherheit des Produkts verantwortlich.

Händler (§ 2 Ziffer 12 ProdSG) ist jeder in der Lieferkette mit Ausnahme des Herstellers und des Einführers. Der Händler hat gewisse Prüfpflichten vor der Weitergabe von Produkten und ihn trifft u.a. die sog. passive Produktbeobachtungspflicht (s. Abschnitt 4.1.1.2).

Hersteller und die ihm rechtlich gleichgestellten Einführer von Produkten auf dem Markt treffen danach besonders weitgehende Pflichten im Vergleich zum Aussteller oder Händler. Der Hersteller muss bereits während der Entwicklung und Konstruktion dafür Sorge tragen, dass die nachfolgend geschilderten Anforderungen zur sicheren Verwendung von Produkten erfüllt werden. Er hat darüber hinaus eine aktive Produktbeobachtungspflicht für seine bereits im Feld befindlichen Produkte und daraus ggf. resultierende Warn- und Rückrufpflichten sowie ggf. auch Meldepflichten gegenüber den Marktüberwachungsbehörden, insbesondere, wenn von Verbraucherprodukten eine ernste Gefahr im Feld ausgeht.

Verbraucherprodukte sind gemäß § 2 Ziffer 26 ProdSG solche, die für Verbraucher bestimmt sind oder die nach vernünftigem Ermessen von Verbrauchern benutzt werden können, auch wenn sie nicht für Verbraucher bestimmt gewesen sind. Dies gilt auch, wenn dem Verbraucher das Produkt im Rahmen einer Dienstleistung zur Verfügung gestellt wird, z. B. beim Copy-Shop, in dem der Kunde einen 3-D-Drucker selbst bedienen darf.

4.1.4 Allgemeine Anforderungen gemäß § 3 ProdSG

Gemäß § 3 ProdSG sind beim Bereitstellen von 3-D-Drucktechnik die **allgemeinen Anforderungen** an die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt zur sicheren Verwendung zu erfüllen. Dabei muss nicht nur die vom Hersteller für den Verwender des Produkts vorzugebende **bestimmungsgemäße Verwendung** nach dem Stand der Technik sicher sein, sondern der Hersteller hat auch die **vorhersehbaren Verwendungen** gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 2 ProdSG bei der Gestaltung des Produkts zur sicheren Verwendung zu berücksichtigen.

Das bedeutet, dass das Produkt den für den Verwendungszweck vorgesehenen Sicherheitsanforderungen nach dem Stand der Technik entsprechen muss und von ihm keine unangemessenen Gefährdungen bei einer bestimmungsgemäßen und vorhersehbaren Verwendung ausgehen dürfen.

Zur vorhersehbaren Verwendung gehört gemäß § 2 Nr. 28 ProdSG auch ein vernünftiger Weise vorhersehbarer Fehlgebrauch des Produkts durch den Nutzer. Der Hersteller soll bei der Festlegung der für die Sicherheit des Produkts relevanten Gestaltung auch solche nach allgemeiner Lebenserfahrung naheliegenden Fehlanwendungen berücksichtigen.

Bei der bereits während der Konstruktion erforderlichen Analyse zur sicheren bestimmungsgemäßen Verwendung und zur weitergehenden vorhersehbaren (Fehl-) Verwendung des Produkts durch den jeweiligen Nutzer hat der Hersteller den gesamten **Produktlebenszyklus** bis zur Entsorgung des Produkts zu betrachten und danach die jeweils erforderlichen Sicherheitsanforderungen umzusetzen. Ferner hat er dabei in den Lebensphasen **nach dem jeweiligen Verwender** und dessen Fähigkeiten und Verständnis für die sichere Nutzung des Produkts angemessen zu berücksichtigen.

Der unerfahrene Verbraucher ist bei der Analyse des erforderlichen Produktsicherheitskonzepts vom Hersteller anders zu berücksichtigen als der geschulte Facharbeiter, der z. B. einen 3-D-Industriedrucker bedient oder das ausgebildete und entsprechend beruflich qualifizierte Fachpersonal, das den 3-D-Drucker ggf. wartet und instand hält. Bei besonders schutzwürdigen Verwendern, z. B. Kindern oder Menschen mit Einschränkungen bestehen demnach auch besonders hohe Anforderungen an die sichere Verwendung eines Produkts.

Das bedeutet, dass der Hersteller von 3-D-Druckern oder 3-D-Drucker-Bausätzen, die für Verbraucher bestimmt sind oder deren Nutzung durch Verbraucher nach vernünftigem Ermessen zu erwarten ist, weitergehende Sicherheitsanforderungen beachten muss, als bei Druckern, die nicht als Verbraucherprodukte qualifiziert, sondern als Industriedrucker bzw. als Drucker für die gewerbliche Nutzung angesehen werden können.

Zur erforderlichen Sicherheit des Produkts gemäß ProdSG gehören nach § 3 Abs. 3 und Abs. 4 ProdSG auch **Instruktionspflichten** des Herstellers. Der Hersteller muss danach dem Produkt regelmäßig alle Informationen beilegen, die für die sichere Verwendung erforderlich sind. Das können, abhängig vom jeweiligen Produkt gemäß § 3 Abs. 3 Montage-/Aufstellungshinweise, aber auch gemäß Abs. 4 Gebrauchs- bzw. Betriebsanleitungen, Sicherheitsdatenblätter etc. sein. Diese Informationen müssen in Schriftform und auf dem deutschen Markt in deutscher Sprache mit verständlichem Inhalt unter Berücksichtigung des jeweiligen **Empfängerhorizonts** des Verwenders gestaltet sein und alle Lebensphasen des Produkts bei Bedarf berücksichtigen.

Die zuständige Marktüberwachungsbehörde kann erforderlichenfalls zur effektiven Gefahrenabwehr Maßnahmen gegen jede andere Person einleiten, die indirekt an der Bereitstellung des in Rede stehenden gefährlichen Produkts beteiligt gewesen ist.

4.1.5 § 3 Abs. 1 ProdSG Vorrang der spezialgesetzlichen Verordnungen gemäß § 8 ProdSG ↔ Maschinenrichtlinie 2006/42 EG (9. ProdSV)

Bei Produkten, deren Bereitstellung auf dem Markt in spezielleren Gesetzen, insbesondere in Verordnungen gemäß § 8 ProdSG geregelt ist, greifen vorrangig gegenüber den vorstehenden allgemeinen Anforderungen des ProdSG die in diesen Ver-

ordnungen enthaltenen besonderen Anforderungen. Hierbei handelt es sich um europäische Harmonisierungsvorschriften, sog. Binnenmarktrichtlinien, die für bestimmte Produkte besondere materielle und formelle Marktzutrittsbedingungen für den gesamten EWR einheitlich regeln und die gemäß § 8 ProdSG in Deutschland als Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz in nationales Recht umgesetzt worden sind.

Aus § 2 Ziffer 7 ProdSG folgt, dass ausschließlich der betreffende Hersteller für die CE-Kennzeichnung verantwortlich ist. Die CE-Kennzeichnung bringt zum Ausdruck, dass das jeweilige Produkt den Harmonisierungsvorschriften entspricht und darf somit auch erst angebracht werden, wenn der Hersteller vorher sichergestellt hat, dass alle gesetzlichen Anforderungen der einschlägigen Harmonisierungsvorschriften erfüllt worden sind. Dies muss der Hersteller in einer an die Marktüberwachung gerichteten schriftlichen (Konformitäts-)Erklärung bestätigen, deren Inhalt in der jeweiligen Binnenmarktrichtlinie vorgegeben wird.

Den Einführer trifft die Pflicht, sicher zu stellen, dass die von außerhalb des EWR stammenden Produkte nur dann von ihm auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn vorher sichergestellt worden ist, dass die in den Harmonisierungsvorschriften enthaltenen Anforderungen erfüllt worden sind. Er ist in der Regel auch erster Ansprechpartner bzw. Adressat von Verfügungen, Auskunftersuchen etc, für die europäischen Marktüberwachungsbehörden.

Für 3-D-Drucker und komplette Bausätze von 3-D-Druckern kommt hier als einschlägige Harmonisierungsvorschrift die **Maschinenrichtlinie 2006/42 EG - als 9. ProdSV in nationales Recht umgesetzt**, nachfolgend **MRL** genannt – zur Anwendung.

3-D-Drucker und komplette Bausätze dafür sind **Maschinen** im Sinne von Art. 1 Abs. 1 und Art. 2 a) MRL, denn sie bestehen aus mehreren miteinander verbundenen Teilen, von denen mindestens eines beweglich ist und die für eine bestimmte Funktion zusammengefügt sind. Sie haben ein Antriebssystem, das nicht die unmittelbare menschliche oder tierische Kraft ist.

3-D-Drucker oder vollständige 3-D-Druckbausätze sind auch nicht vom Anwendungsbereich der MRL gemäß Art. 1 Abs. 2 Buchstabe k) MRL als elektrische oder elektronische Erzeugnisse **ausgenommen**, da sie **kein Haushaltsgerät und nicht für den häuslichen Gebrauch bestimmt ist** gemäß Art. 1 Abs. 2 k) erster Spiegelstrich und es sich auch **nicht um eine gewöhnliche Büromaschine** gemäß Art 1 Abs. 2 k) vierter Spiegelstrich MRL handelt.

Dies bestätigen auch die Ausführungen in der zweiten Auflage des Leitfadens zur MRL 2.1, erschienen am 19.07.2017, unter den §§ 63 und 67. Danach lässt sich auch der für Verbraucher bestimmte 3-D-Drucker bzw. Bausatz eines solchen Druckers nicht als für den häuslichen Gebrauch bestimmtes Haushaltsgerät, aber auch nicht als gewöhnliche Büromaschine einordnen. Nach seiner bestimmungsgemäßen Verwendung wird er weder für Haushalts- noch für Bürotätigkeiten eingesetzt und ist auch als Verbraucherprodukt nicht mit üblichen Haushaltsgeräten, z. B. sog. „weißer Ware“, einem Mixer, einer Saftpresse etc. oder mit einem herkömmlichen Bürodruker oder anderen für den Bürobetrieb verwendeten herkömmlichen Bürogeräten vergleichbar.

In der Praxis lässt sich allerdings feststellen, dass Wirtschaftsakteure 3-D-Drucker häufig fehlerhaft unter die Niederspannungsrichtlinie – nachfolgend NSR - und nicht unter die MRL einordnen. Häufig werden dann auch harmonisierte Normen angewendet, die anderen der NSR unterliegenden Produkten zuzuordnen sind, wie z. B. dem herkömmlichen Bürodrucker. Von 3-D-Druckern können im Betrieb aber Gefahren ausgehen, z. B. durch hohe Hitze oder durch chemische Emissionen in Folge des additiven Druckvorgangs (Ausgasungen gefährlicher Stoffe, Feinstaubentwicklung etc.), die durch die vorhandenen harmonisierten Normen der NSR nicht vollständig erfasst werden.

Im Ergebnis liegt, wie oben ausgeführt, kein Ausnahmetatbestand gemäß Art. 1 Abs. 2 MRL zu Gunsten NSR 2014/35 EU (1. ProdSV) vor.

Die **MRL und die NSR sind auch nicht nebeneinander anzuwenden**, auch wenn man davon ausgeht, dass 3-D-Drucker regelmäßig innerhalb der Spannungsgrenzen des Anwendungsbereichs der NSR betrieben werden (50 – 1000 Volt Wechselstrom und 75 – 1500 Volt Gleichstrom), weil das Schutzziel elektrische Sicherheit bereits vom Anhang I der MRL (vgl. Anhang I MRL Ziffer 1.5.1) umfasst wird.

Die **MRL gilt zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens**. Damit fallen die in der Richtlinie enthaltenen Pflichten in die Verantwortung des Herstellers resp. aber ggf. auch des Einführers, wenn es sich um Drucker oder Druckerbausätze handelt, die von außerhalb des EWR stammen und von ihm importiert und auf dem Markt bereitgestellt werden.

Die MRL erfasst neben dem Inverkehrbringen in Art. 4 Abs. 1 ausdrücklich auch die Herstellung einer Maschine zum **Eigengebrauch** (...*“in Betrieb genommen...”*), so dass auch der für eine geschäftsmäßige Nutzung (s. Abschnitt 4.1.1.2) selbst hergestellte Drucker die materiellen und die formellen Anforderungen der Richtlinie inklusive auch der (CE-)Kennzeichnungs- und Deklarationspflichten erfüllen muss. Davon sind somit nicht nur Gewerbetreibende/Industrieunternehmen betroffen, die für den Eigengebrauch Drucker selbst herstellen, sondern auch Verbraucher, die einen 3-D-Drucker selbst zusammenbauen und ihn anschließend dann geschäftlich nutzen oder durch andere Personen nutzen lassen, z. B. beim geschäftsmäßigen Verleih an Dritte.

Nach der MRL muss der Hersteller vor dem Inverkehrbringen sicherstellen, dass er die in **Anhang I MRL enthaltenen Schutzziele** zur sicheren Verwendung von Maschinen über **alle Lebensphasen** hinweg eingehalten und hierzu eine **Risikobeurteilung** erstellt hat. Der Hersteller muss nach **Anhang VII eine Technische (Nachweis-)Dokumentation** erstellen und 10 Jahre aufbewahren, nach deren Inhalt die Marktüberwachungsbehörden beurteilen können, dass die Maschine auch tatsächlich die gesetzlichen Sicherheitsanforderungen des Anhang I erfüllt.

Zur sicheren und rechtskonformen Maschine gehört zwingend auch immer eine **deutschsprachige schriftliche Betriebsanleitung**, die über alle Restgefahren aufklärt und dem Verwender den sicheren Betrieb über alle Lebensphasen hinweg ermöglicht.

Allerdings enthält der **Anhang I die sog. Rangfolge der Maßnahmen**, weshalb grundsätzlich bei der Herstellung des 3-D-Druckers während der Risikobeurteilung

an erster Stelle soweit wie möglich für konstruktive, d. h. inhärente Sicherheit gesorgt werden muss. Nachrangig soll der Hersteller erforderlichenfalls auf der zweiten Stufe durch technische Schutzmaßnahmen vorhandene Risiken angemessen reduzieren, z. B. durch Einhausungen, Abdeckungen, Absaugungen etc. verhindern, dass der Verwender heißen Oberflächen oder gefährlichen Emissionen ausgesetzt wird. Erst nachdem diese beiden Stufen (technischen Möglichkeiten) vollkommen zur erforderlichen Risikoreduzierung ausgeschöpft worden sind, hat der Hersteller in der Betriebsanleitung den Verwender über alle ggf. noch vorhandenen Restgefahren aufzuklären und ihm alle Informationen zu geben, die für die sichere Verwendung über alle Lebensphasen hinweg erforderlich sind. **Ein Verstoß bei der Rangfolge der Maßnahmen, z. B. in Gestalt einer bloßen Warnung vor heißen Oberflächen des Druckers anstatt einer ggf. möglichen technisch sicheren Lösung, stellt einen Verstoß gegen die MRL dar. Solche Drucker sind nicht verkehrsfähig. Strenge Anforderungen gelten hier besonders für Drucker, die für Verbraucher bestimmt sind und als besonders schutzwürdig behandelt werden müssen.**

Zur Konkretisierung der Schutzziele der MRL existieren zurzeit ca. 800 sog. **harmonisierte Normen**, die den Wirtschaftsakteuren und der Marktüberwachung Empfehlungen bzw. Hilfestellungen zum Erreichen der im Anhang I enthaltenen Schutzziele im Rahmen der vom Hersteller durchzuführenden und zu dokumentierenden Risikobeurteilung bieten. Bei Einhaltung einschlägiger harmonisierter Normen enthält die MRL, wie andere CE-Binnenmarktrichtlinien auch, eine Regelung zur sog. **Konformitätsvermutung**. Das bedeutet, **Normenkonformität im Rahmen der sicherheitsgerechten Gestaltung des Druckers führt zur vermuteten Gesetzeskonformität** auf Seiten des Herstellers und vor allem auf Seiten der Marktüberwachungsbehörden. **Die ggf. angewendeten Normen sind mit den übrigen technischen Nachweisunterlagen gemäß Anhang VII 10 Jahre vom Hersteller/Einführer auf Nachfrage den zuständigen Behörden verfügbar zu machen.**

Dort wo keine harmonisierten Normen innerhalb der Risikobeurteilung vorhanden sind oder vom Hersteller vorhandene einschlägige Normen nicht angewendet werden, obliegt es dem Hersteller über alle 12 Lebensphasen der Maschine hinweg eine möglichst objektive und umfassende Risikobeurteilung vorzunehmen, um im Ergebnis eine gemäß den Anforderungen des Anhang I MRL sichere 3-D-Drucktechnik auf dem Markt bereitzustellen.

Wenn der Hersteller sich durch Validierung vergewissert hat, dass er alle Anforderungen des Anhang I MRL erfüllt hat, erstellt er nach Anhang II Teil A eine **Konformitätserklärung** und bringt gemäß Anhang III die **CE-Kennzeichnung** an der Maschine an **und kennzeichnet die Maschine eindeutig identifizierbar u.a. mit seinem Namen und seiner Anschrift** (vgl. Anhang I Ziffer 1.7.3). Er darf sie anschließend mit einer **deutschsprachigen schriftlichen Betriebsanleitung** auf dem Markt bereitstellen.

4.1.6 Besondere Anforderungen und Pflichten bei Verbraucherprodukten gem. § 6 ProdSG

Werden 3-D-Drucker als **Verbraucherprodukte** im oben genannten Sinne bereitgestellt, so bestehen nach § 6 ProdSG neben den vorrangigen materiellen und formellen Anforderungen der MRL folgende zusätzliche **Anforderungen im Rahmen der Bereitstellung** am Markt:

- Produkt-/Kennzeichnung
- Name und Kontaktanschrift des Herstellers
- Stichproben (Produktbeobachtung)
- Beschwerdebuch (Produktbeobachtung)
- Rückrufvorsorge Händler
- Benachrichtigungspflicht gegenüber Behörde bei gefährlichen Produkten
- Krisenmanagementpflicht (z. B. Rückrufplan).

4.1.7 **Druckvorlagen, Software, Scans, Filamente ↔ Anforderungen gemäß ProdSG und Spezialgesetzen bzw. Verordnungen zum ProdSG**

(1) Sind auch Druckvorlagen/Software/Scans Produkte i.S.d. ProdSG?

Software wird definiert als ein nicht technisch-physikalischer Funktionsbestandteil einer Datenverarbeitungsanlage. Software ist dann ein Produkt, wenn es „in verkörperter Form“ vorliegt, also zum Beispiel als Datenträger. Bei Software ohne Datenträger, handelt es sich daher nicht um ein Produkt. Im Produkthaftungsrecht grenzt § 2 ProdHaftG Produkte als bewegliche Sachen und damit körperlich abgrenzbare Dinge ab.

Anders kann es für **Scans** aussehen, wenn sie nicht auf einem Datenträger gespeichert sind. Dasselbe gilt für **Druckvorlagen**. Die reinen Daten verfügen nicht über die vom ProdSG geforderte Verkörperung und sind daher keine Produkte im Sinne des ProdSG.

(2) Nach dem ProdSG sind „Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind“ Produkte i.S.d. ProdSG. Dies gilt auch für alle technischen Arbeitsmittel die als solche durch § 2 II GPSG (altes Recht) qualifiziert wurden. Damit sind auch die Druck-Materialien und Stoffe (alle Komponenten = Filamente), um den 3-D-Druck überhaupt ausführen zu können und sämtliche Zubehörteile als Produkte erfasst.

4.1.8 **Weitere ggf. bei der Herstellung von 3-D-Drucktechnik für den EWR anwendbare Spezialgesetze (CE-Richtlinien etc.)**

Bei der 3-D-Drucktechnik ist regelmäßig auch die **Richtlinie 2014/30/EU vom 26. Februar 2014 über die elektromagnetische Verträglichkeit – nachfolgend EMV-Richtlinie (Umsetzung in Deutschland als EMV-Gesetz)** zu beachten.

Die **EU-Richtlinie 2011/65/EU** (Restriction of the use of certain Hazardous Substances - **RoHS-Richtlinie** genannt) dient der Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Sie regelt die Verwendung und das Inverkehrbringen von Gefahrstoffen in Elektrogeräten und elektronischen Bauelementen und ist damit grundsätzlich auch für 3-D-Drucktechnik anwendbar. Die RoHS-Richtlinie wurde in Deutschland durch die **Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung** in nationales Recht umgesetzt.

Die **WEEE-Richtlinie 2012/19/EU** (Waste of Electrical and Electronic Equipment; deutsch: Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall) dient der Vermeidung von Abfällen von Elektro- und Elektronikgeräten und der Reduzierung solcher Abfälle durch Wiederverwendung, Recycling und anderer Formen der Verwertung. Sie legt Mindestanforderungen für die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten in der EU fest und wurde mit dem **Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)** in nationales deutsches Recht umgesetzt. Auch diese Vorschrift gilt grundsätzlich für gewerblich und privat genutzte 3-D-Drucktechnik.

Vor allem bei Industriedruckern kann unter Umständen, z. B. bei einer Verwendung der Drucktechnik in explosionsgefährdeter Umgebung, die **ATEX-Produktrichtlinie 2014/34/EU** zu beachten sein. Diese Europäische Richtlinie wurde in Deutschland **durch die Explosionsschutzprodukteverordnung (11. ProdSV)** in nationales Recht umgesetzt.

4.1.9 Adressaten für behördliche Marktüberwachungsmaßnahmen

Das ProdSG enthält keine Vorrangregelung zur Frage, gegen welchen Wirtschaftssektor (Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer, Händler, Aussteller) Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ergriffen werden und wie rechtswidrige Zustände effektiv beseitigt werden können.

Bei fehlerhafter, für die vorhersehbare Verwendung nicht sicherer 3-D-Drucktechnik können sich Maßnahmen entlang der gesamten Kette der betroffenen Wirtschaftssektoren und Betroffenen richten, bei denen unmittelbare Gefährdungen auftreten können.

Die Überwachung kann Maßnahmen gegenüber allen Wirtschaftsakteuren ergreifen, die 3-D-Drucktechnik auf dem Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit, siehe oben, bereitstellen oder ausstellen. Auch der gewerblich tätige Betreiber des betreffenden Druckers kann Adressat der Marktüberwachung sein.

§ 27 Abs. 1 ProdSG sieht darüber hinaus vor, dass bei Gefahr im Verzug auch Maßnahmen gegen andere Personen als Wirtschaftsakteure gerichtet werden dürfen, solange ein gegenwärtiges ernstes Risiko nicht auf andere Weise abgewendet werden kann. Das können beispielsweise Transportunternehmen sein oder auch Verbraucher.

Auch Hersteller und/oder Bereitsteller/Plattformbetreiber von nicht verkörperten Druckvorlagen können danach Adressaten von behördlichen Maßnahmen sein, wenn ernste Gefahren im Feld deshalb auftreten, weil die Druckvorlage als Ursprung für das betreffende Produkt bereits fehlerhaft gewesen ist.

Gemäß **§ 28 ProdSG** stehen den Marktüberwachungsbehörden – nachfolgend **MÜ** genannt - umfassende Betretensrechte und Befugnisse zu, dort wo Produkte hergestellt, erstmals verwendet, zum Zweck der Bereitstellung auf dem Markt lagern oder ausgestellt sind.

MÜ treffen gem. **§ 26 Abs. 2 ProdSG** die **erforderlichen Maßnahmen** bei „*begründetem Verdacht*“, dass ein Produkt nicht die Anforderungen nach den europ. VO und/oder dem ProdSG erfüllt und haben folgende Befugnisse:

- Ausstellen des Produkts zu untersagen;
- Proben zu Untersuchungszwecken entnehmen;
- Anordnung der Prüfung durch eine notifizierte Stelle;
- Vorläufiges Bereitstellungsverbot für die Dauer der Prüfung;
- Anordnung von klar verständlichen Warn- und Sicherheitshinweisen am Produkt oder in der Betriebsanleitung;
- Bereitstellungs- oder Vertriebsverbot;
- Anordnung Rücknahme oder Rückruf;
- Anordnung Vernichtung;
- Anordnung der Warnung der Öffentlichkeit;
- Festsetzung Bußgelder bis 100.000,00 EUR.

Dazu kommen mögliche Maßnahmen der Polizei- und Ordnungsbehörden aus Generalklauseln, insbesondere bei Gefahr im Verzug (z. B. grüne Rauchschwaden über der 3-D-Druckwerkstatt).

4.2 Überblick zu den sicherheits-/ordnungsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für Hersteller, Einführer, Händler, Aussteller und sonstige an der Bereitstellung von mittels 3-D-Druck-Technologie hergestellten Produkten Beteiligte

Für die mittels 3-D-Drucktechnik hergestellten Produkte ergeben sich rechtlich keine Besonderheiten, sondern es gelten alle einschlägigen produktsicherheitsrechtlichen Vorschriften vom o. g. ProdSG bis ggf. zu produkt- und/oder gefährdungsspezifischen Spezialgesetzen, die für bestimmte Produkte und Gefährdungsarten besondere Anforderungen materielle und formelle Anforderungen enthalten.

Besondere Risiken bei der Verwendung dieser neueren Technologie ergeben sich aber vor allem aus dem Umstand, dass auch derjenige zum Hersteller werden kann, der lediglich einen 3-D-Drucker, eine Druckvorlage und Druckmaterial besitzt, selbst aber kein weitergehendes Know-how über den Druckprozess, die Qualität des gedruckten Produkts und die für das Produkt existierenden sicherheitsrechtlichen Gesetze, Normen, Regeln und Standards verfügt und insbesondere nicht mit dem konkreten Gefährdungspotenzial des gedruckten Produkts vertraut ist.

Nachfolgend werden Anforderungen nach dem Produktsicherheitsgesetz und den dazugehörigen Verordnungen für mittels 3-D-Drucktechnologie hergestellter Produkte aufgeführt und erläutert.

4.2.1 Anwendbarkeit des ProdSG

Das ProdSG ist anwendbar, wenn nach § 1 Abs.1 ProdSG eine Bereitstellung, Ausstellung oder erstmalige Verwendung von Produkten im Rahmen einer Geschäftstätigkeit auf dem Markt erfolgt.

Gemäß § 2 Ziffer 22 ProdSG sind Produkte Waren Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind. Das Gesetz erfasst alle Produkte, d. h. Verbraucherprodukte ebenso wie Produkte zur gewerblichen Nutzung, verwendungsfähige Endprodukte, aber auch alle dazugehörigen selbst noch nicht verwendungsfähigen Zuliefererprodukte. Nur einige wenige Ausnahmen, z. B. bei Waffen oder Medizinprodukten, Lebensmitteln etc. werden gemäß § 1 Abs. 3 ProdSG vom Anwendungsbereich ausgenommen und in anderen spezielleren Vorschriften geregelt.

4.2.2 Bereitstellung im Rahmen einer Geschäftstätigkeit i.S.d. ProdSG

Bereitstellung am Markt gemäß §2 Ziffer 4 ProdSG bedeutet, dass eine entgeltliche oder auch eine unentgeltliche Abgabe zum Vertrieb, Verbrauch oder zur Verwendung auf dem Markt der Europäischen Union im Rahmen einer Geschäftstätigkeit erfolgt (s. Abschnitt 4.1.1.2).

Bei unternehmerischer bzw. gewerblicher Nutzung von 3-D-Drucktechnik fallen die erzeugten Produkte unproblematisch unter den Anwendungsbereich des ProdSG. In anderen Fällen einer auf den ersten Blick eher privaten Nutzung durch Verwender können, wie oben ausgeführt, die Grenzen fließend sein und ein ursprünglich als Verbraucher anzusehender Verwender kann durch intensiven Verkauf von selbst hergestellten Produkten zum Wirtschaftsakteur im Sinne des ProdSG werden.

4.2.3 Wirtschaftsakteure gemäß ProdSG

Das ProdSG gilt für den geschäftsmäßig handelnden **Aussteller, Händler, Einführer und Hersteller** von Produkten (s. Abschnitt 4.1.1.3).

4.2.4 Allgemeine Anforderungen gemäß § 3 ProdSG

Gemäß § 3 ProdSG sind beim Bereitstellen von mittels 3-D-Drucktechnik hergestellten Produkten die allgemeinen Anforderungen an die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt zur sicheren Verwendung zu erfüllen. Dabei muss nicht nur die vom Hersteller für den Verwender des Produkts vorzugebende bestimmungsgemäße Verwendung nach dem Stand der Technik für alle Lebensphasen sicher sein, sondern der Hersteller hat auch die vorhersehbaren Verwendungen gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 2 ProdSG bei der Gestaltung des Produkts zur sicheren Verwendung zu berücksichtigen (s. Abschnitt 4.1.1.4).

Wie gesagt, vor allem für fachlich nicht versierte und unerfahrene Verwender von 3-D-Druckern ergeben sich hier, abhängig vom jeweils gedruckten Produkt und dessen vorhersehbarer Verwendung mehr oder weniger unübersehbare Risiken, weil das nötige Know-how und die Erfahrung im Umgang mit dem Produkt, dessen Herstellung und sichere Verwendung fehlt.

4.2.5 § 3 Abs. 1 ProdSG Vorrang der spezialgesetzlichen Verordnungen gemäß § 8 ProdSG

Bei Produkten, deren Bereitstellung auf dem Markt in spezielleren Gesetzen, insbesondere in Verordnungen gemäß § 8 ProdSG geregelt ist, greifen vorrangig gegenüber den vorstehenden allgemeinen Anforderungen des ProdSG die in diesen Verordnungen enthaltenen besonderen Anforderungen. Hierbei handelt es sich um eu-

ropäische Harmonisierungsvorschriften, sog. Binnenmarktrichtlinien, die für bestimmte Produkte besondere materielle und formelle Marktzutrittsbedingungen für den gesamten EWR einheitlich regeln und die gemäß § 8 ProdSG in Deutschland als Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz in nationales Recht umgesetzt worden sind.

Aus § 2 Ziffer 7 ProdSG folgt, dass ausschließlich der betreffende Hersteller für die CE-Kennzeichnung verantwortlich ist. Die CE-Kennzeichnung bringt zum Ausdruck, dass das jeweilige Produkt den Harmonisierungsvorschriften entspricht und darf somit auch erst angebracht werden, wenn der Hersteller vorher sichergestellt hat, dass alle gesetzlichen Anforderungen der einschlägigen Harmonisierungsvorschriften erfüllt worden sind. Dies muss der Hersteller in einer an die Marktüberwachung gerichteten schriftlichen (Konformitäts-)Erklärung bestätigen, deren Inhalt in der jeweiligen Binnenmarktrichtlinie vorgegeben wird.

Den Einführer trifft die Pflicht, sicher zu stellen, dass die von außerhalb des EWR stammenden Produkte nur dann von ihm auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn vorher sichergestellt worden ist, dass die in den Harmonisierungsvorschriften enthaltenen Anforderungen erfüllt worden sind. Er ist in der Regel auch erster Ansprechpartner bzw. Adressat von Verfügungen, Auskunftsersuchen etc., für die europäischen Marktüberwachungsbehörden.

Durch 3-D-Drucker können verschiedenartige Produkte hergestellt werden, so dass es dem jeweiligen Hersteller obliegt, nach der bestimmungsgemäßen Verwendung des Produkts, z. B. als Spielzeug oder als Lebensmittelbedarfsgegenstand etc., die einschlägigen Richtlinien (Spielzeugrichtlinie 2009/48/EG = 2. ProdSV) und den jeweils gültigen Stand der (Sicherheits-)Technik (harmonisierte Normen etc.) zu ermitteln und einzuhalten.

Nach den jeweils anzuwendenden Spezialgesetzen müssen die darin enthaltenen Schutzziele bei der Konstruktion und Fertigung des Produkts und ggf. bei der für den Verwender bestimmten Dokumentation (Betriebsanleitung, Montageanleitung etc.) eingehalten werden. Bei den sicherheitsrelevanten Richtlinien des New Legislative Framework ist in der Regel eine Risikobeurteilung über den Lebenszyklus des Produkts hinweg durchzuführen und muss ein umfangreicher Nachweis und Kundendokumentation erstellt und für die Marktüberwachung verfügbar gemacht werden.

3-D-Druck ist zwar eine besondere Fertigungstechnologie für die sich rechtlich aber keine besonderen Anforderungen oder gar Vorschriften ergeben. Aber mittels 3-D-Drucktechnik können in der Praxis besondere Probleme auftreten, weil plötzlich jemand zum Produkthersteller werden kann, dem das nötige Know-how und die Erfahrung als Hersteller fehlt.

4.2.6 Besondere Anforderungen und Pflichten bei Verbraucherprodukten gem. § 6 ProdSG

Werden **Verbraucherprodukte** im oben genannten Sinne bereitgestellt, so bestehen nach § 6 ProdSG zusätzliche **Anforderungen im Rahmen der Bereitstellung** am Markt (s. Abschnitt 4.1.1.6).

4.2.7 Adressaten für behördliche Marktüberwachungsmaßnahmen

Das ProdSG enthält keine Vorrangregelung zur Frage, gegen welchen Wirtschaftsakteur (Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer, Händler, Aussteller) Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ergriffen werden und wie rechtswidrige Zustände effektiv beseitigt werden können.

Bei fehlerhaften, für die vorhersehbare Verwendung nicht sicheren Produkten können sich Maßnahmen entlang der gesamten Kette der betroffenen Wirtschaftsakteure und Betroffenen richten, bei denen unmittelbare Gefährdungen auftreten können.

Die Überwachung kann Maßnahmen gegenüber allen Wirtschaftsakteuren ergreifen, die Produkte auf dem Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit, siehe oben, bereitstellen oder ausstellen (s. Abschnitt 4.1.1.9).

4.3 Produkthaftungsrecht

Die verschuldensunabhängige Ersatzpflicht des Herstellers gemäß ProdHaftG ist ausgeschlossen, wenn er gemäß § 1 Abs. Ziffer 3 ProdHaftG „*das Produkt weder für den Verkauf oder eine andere Form des Vertriebs mit wirtschaftlichem Zweck hergestellt noch im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit hergestellt oder vertrieben hat*“.

Entgeltlicher Vertrieb (Verkauf) von mittels 3-D-Druck hergestellten Produkten führt danach regelmäßig auch zur Anwendung des ProdHaftG, wobei die Verkaufsabsicht bei der Herstellung schon vorhanden gewesen sein soll.

Ansonsten bleibt es stets mindestens auch bei der verschuldensabhängigen Haftung nach § 823 BGB.

Ist ein Produkt infolge fehlerhafter technischer Konstruktion (**Konstruktionsfehler**) für eine gefahrlose Nutzung ungeeignet, führt dies zur Haftung. Maßgeblich für die Planung ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens. Bei der Planung beginnt die Sorgfaltspflicht.

Ist bei der Herstellung des Produkts ein Fehler (**Fabrikationsfehler**) entstanden, z. B. Ständerwerk für den Druck lässt sich nicht vollständig entfernen/entgraten, so haftet der Hersteller dafür, da er für fehlerfreie Produkte sorgen muss.

Ebenso haftet der Hersteller, der eine unzutreffende Gebrauchsanleitung für ein Produkt verfasst oder eine entsprechende Instruktion unterlässt bzw. falsch instruiert (**Instruktionsfehler**).

- 1) Der Hersteller haftet im Rahmen der gesetzlich geregelten Haftung des ProdHaftG, wenn er ein nach der Verbrauchererwartung fehlerhaftes Produkt zugänglich macht, das einen Schaden am Körper oder Gesundheit bzw. einer anderen Sache als dem Produkt selbst verursacht hat.

Hat ein Hersteller der Erwartung an das Produkt für den Verwendungszweck nicht entsprochen, insbesondere eine zu beachtende Vorgabe nach einer CE-Richtlinie z. B. nicht eingehalten, so haftet er dafür.

- 2) Nach dem ProdHaftG haftet der Hersteller nach § 4 (1), der Importeur nach § 4 (2) und der Lieferant nach § 4 (3) ProdHaftG verschuldensunabhängig für ein Handeln.
- 3) Der Umfang der Haftung ist verschuldensunabhängig und richtet sich nach den Vorschriften der §§ 10, 11, 6, 8 ProdHaftG. Die Regelung des § 254 BGB kommt in Betracht, sofern nur ein Mitverschulden vorliegt. Ein Mitverschulden anderer käme in Betracht, wenn ein Hersteller dem Filament-Lieferanten bzw. Hersteller z. B. den Verwendungszweck für seine Bestellung mitgeteilt hatte und ihm darauf hingewiesen hätte, dass er das Filament sonst nicht gebrauchen kann. Dies befreit ihn zwar nicht von der eigenen Haftung, evtl. kommen aber Ansprüche gegen den Filament-Hersteller dann in Betracht.

4.3.1 Vertragliche und gesetzliche Haftungstatbestände

Aus vertraglichen Vereinbarungen wie **Kaufverträgen, Werkverträgen, Mietverträgen, Lizenzverträgen, Lizenzfertigungsverträgen, Auftragsfertigungsverträgen in verschiedenen Formen, Werklieferverträgen oder auch Dienstverträgen** ergeben sich regelmäßig weitere Haftungstatbestände.

Die **vertragliche Haftung** (nach Vertrag, BGB und ggf. HGB bei Kaufleuten) bedeutet insbesondere die Haftung für Sachmängel, bei Nichterfüllung, bei Unmöglichkeit der Leistung, auf Nacherfüllung und ggf. auf Schadensersatz bei Verstoß gegen vertragliche und/oder gesetzliche Regelungen des Zivilrechts.

Darüber hinaus kommen Ansprüche aus gesetzlicher deliktischer Haftung gemäß § 823 (1) BGB in Betracht sowie aus 823 (2) BGB i.V.m. einem Schutzgesetz und aus § 826 BGB.

Hierzu wird auf die bereits vorliegende umfangreiche Literatur verwiesen.

Zur Erläuterung der im Bereich des 3-D-Drucks wichtigen und typischen Vertragstypen:

Der **Werklieferungsvertrag** ist eine **Mischform zwischen Werk- und Kaufvertrag**. Problematisch ist, wer für Sach- und Rechtsmängel haftet. Dies wird durch die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit (§ 434 I S.1 BGB), die nach dem Vertrag vorausgesetzte Verwendung (§ 434 I S.2 Nr. 1 BGB) oder die gewöhnliche Verwendung (§ 434 I S.2 Nr.2 BGB) ermittelt.

Die abstrakten Maßstäbe müssen für den 3-D-Druck und die additive Fertigung noch konkretisiert und festgelegt werden. Es müssen entsprechende Leitlinien festgelegt werden. In der Praxis müssen eindeutige und ausführliche Vereinbarungen über Beschaffenheit und Verwendung getroffen werden, dann kommt Werkvertragsrecht zur Anwendung, wenn ein Erfolg (Produkt entsprechend bestimmter Spezifikationen) vereinbart wird.

Im 3-D-Druck wird hier z. B. die Vereinbarung der Beschaffenheit und Eigenschaften sowie Form, Steifigkeit, Bigsamkeit, Festigkeit, Stabilität, benutzte Materialien, Abweichungen und Fehlertoleranzen wichtig. Von einem Standard, was „marktüblich“ ist und was aus Verbrauchersicht „erwartet werden darf“ kann man aktuell nur in wenigen Bereichen sprechen. Geistige Leistungen wie Druckvorlagen sind –selbst wenn

sie verkörpert vorliegen – nicht als Werklieferverträge gemäß § 651 BGB zu qualifizieren, es sind regelmäßig Werkverträge.

Dazu kommt als Sondervertragsform der **Lizenzvertrag** (Vertrag sui generis) gemäß §§ 311, 241 BGB. Stellt ein Verbraucher gemäß einer Lizenz mit einer Druck-Vorlage mit Mitteln eines Dritten ein Druckerzeugnis her, so hängt die Haftung für die Fertigung und die Haftung für Fehler und Mängel u.a. möglicherweise auch von der Art der eingeräumten Nutzungsrechte ab und ist gestuft zu bewerten. Typisches Beispiel hierfür ist der Copyshop-Betreiber, der für Fehler am Druckerzeugnis durch seinen Drucker oder seine Materialien haftet. Er hat durch das Bereitstellen seines Druckers einen zivilrechtlichen Vertrag mit dem Verbraucher geschlossen und muss sich Mitverschulden bei Mängeln durch z. B. Wartungs-, Instruktions- oder Herstellungsfehler auf der Seite des zur-Verfügung-Stellers eines 3-D-Druckers entsprechend anrechnen lassen. Aus öffentlich-rechtlicher Sicht, kommt eine mehrfache, ggf. gesamtschuldnerische Haftung und die gemeinsame Verpflichtung zur Einhaltung von Sicherheitsvorschriften – je nach Beteiligungsart – in Betracht.

4.3.2 Ausgewählte typische rechtliche Risiken für Verbraucher, d. h. für Verwender von 3-D-Druckern

Urheberrecht:

- unzulässige Vervielfältigung
- unzulässige Verbreitung von Druckmodellen und Vorlagen
- unzulässige Repliken
- Verbreitung von Vorlagen über Tauschbörsen

Markenrecht:

- Vervielfältigung von markengeschützten Produkten

Gewerbliche Schutzrechte (Patent- und Gebrauchsmusterrechte):

- Vervielfältigung und Nachbau von mit Patenten oder Gebrauchsmustern geschützten Erfindungen, Verfahren und Mechanismen

Waffenrecht:

- Druck von Waffen aus Kunststoff oder Metall
- Verbreiten von Vorlagen zum Druck von Waffen

4.3.3 Auszug von Rechtsbereichen im engen Zusammenhang mit dem 3-D-Druck

Nachfolgend ein Auszug von Rechtsvorschriften, bei deren Verstoß öffentlich-rechtliche Maßnahmen verhängt werden können, die strafrechtlichen Charakter haben oder zur Verwirklichung weiterer haftungsrechtlicher oder sonstiger Risiken führen könnten:

- Zivilrechtliche Vorschriften des BGB über Haftung, ProdHaftG, Produzentenhaftung

- technische Normen und Vorschriften zur Unfallverhütung, Arbeits- und Betriebssicherheit, insbesondere auch bei Einsatz von Dritten (Gefälligkeit oder bei Arbeits-/Dienstverträgen)
- strafrechtliche Vorschriften, insbesondere auch aus dem ProdSG.
- IT-Datenschutz, IT-Sicherheit (Betriebs-/Geschäftsgeheimnisse), Datenbankrecht
- Anspruch auf Sonderrechtsschutz, z. B. Patentrecht (PatG), Markenrecht, Gebrauchsmusterschutz, Urheberrechte (UrhG), Rechte an Daten (z. B. Konstruktionsentwürfe eines Architekten, Statiker)
- Schutzrechte durch Wettbewerbsrecht (z. B. § 17 UWG) und gewerblichen Rechtsschutz
- 3 D – Scan als personenbezogenen Daten (z. B. Körperscan, CT, MRT) durch DSGVO
- 3-D-Daten (z. B. 3-D-Scan bzw. 3-D-Datenmodelle) sind Vermögenswerte
- Gestaltung durch: Vertraulichkeits- und Geheimhaltungsvereinbarungen, Kopierverbote, Kennzeichnung / Wasserzeichen, Vertragsstrafen, Anzeigepflichten, Rechtevorbalt (z. B. für Dienstleister, Zulieferer, eigene Mitarbeiter, Vertragspartner, Bereitsteller von Daten)
- IT-Sicherheit (Rechteschutz + technische Sicherheit)
- Rechte an Prototypen 3-D-Scan-Muster (reverse engineering) zu klären
- Problematik unterschiedlichen Rechts in europäischen Staaten zur Frage der Zulässigkeit des „Reverse Engineering“ (gemäß Art.3 (1) b) der EU-Richtlinie RL 2016/943) - in Deutschland grundsätzlich rechtswidrig, RL-Umsetzung
- Richtlinie (EU) 2016/943 „Schutz vertraulichen Know-hows und vertraulicher Geschäftsinformationen vor rechtswidrigem Erwerb sowie rechtswidriger Nutzung und Offenlegung“
- Art.6, 7 InfoRL 2001/29/EG erlaubt technische Schutzmaßnahmen, um den Zugang zu Informationen zu beschränken
- Beachtung von Kopiersperren, digitalen Wasserzeichen, Ländercodes, Nutzungssperren

4.4 Anwendung der Vorschriften im Rahmen von Beispiel-Szenarien

Nachfolgend werden die im vorherigen Kapitel in Abschnitt 3.1 aufgeführten Szenarien aufgegriffen. Es wird jeweils dargelegt, welche rechtlichen Anforderungen bestehen und inwiefern die Verwender von 3-D-Druckern zu Herstellern im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes werden können bzw. welche sonstigen rechtlichen Anforderungen relevant werden. Zur Unterscheidung der Begriffe soll hier der Begriff Verwender für einen privaten Nutzer eines 3-D-Druckers, also eines Verbrauchers im Sinne des ProdSG verwendet werden. Der Verwender erzeugt mit der Nutzung eines 3-D-Druckers ein Produkt für Nutzer, für die hier der Begriff Verbraucher verwendet wird.

4.4.1 Szenario 1

Ein Verwender eines 3-D-Druckers entwirft selbst und eigenständig ein Produkt (z. B. Figur für ein Fantasy-Spiel aus Kunststoff und/oder Metall). Die Figur wird am heimi-

schen 3-D-Drucker „gedruckt“ (= hergestellt) und über eine Internetplattform (z. B. ebay) verkauft.

Das Produkt wird rege nachgefragt. Der Verwender druckt regelmäßig neue Figuren und bietet diese zum Verkauf an und verkauft diese auch. Wird der Verwender des 3-D-Druckers zum Hersteller von Produkten im Sinne des ProdSG?

1. Abwandlung:

Ändert sich etwas, wenn der Verbraucher die Figur nur einmalig ausdrucken und verkaufen will?

2. Abwandlung:

Frau X hat die Figur gekauft und ihr minderjähriger Sohn Max verschenkt diese zum Spielen auf einem Kindergeburtstag an Moritz. Es stellt sich heraus, dass Moritz erkrankt. Im Rahmen der Untersuchung der möglichen Ursachen, kommt man zum Ergebnis, dass Moritz bereits mehrere dieser Figuren besitzt und sich darin offensichtlich unzulässige gesundheitsschädliche Weichmacher befinden.

Aufgrund eines Fehlers im Produkt (z. B. Einsatz ungeeigneter erworbener Filamente oder selbst hergestellter Kunststoff-Filamente mit Weichmachern/Chemikalien als Druckmaterial) kommt so ein Mensch zu Schaden.

4.4.1.1 Bewertung nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)

Das ProdSG ist anwendbar, da hier ein „Produkt“, nämlich die Spielfigur am Markt über das Verkaufsportal „bereitgestellt“ wird. Das Anbieten über die Plattform kann als „Geschäftstätigkeit“ i.S.d. ProdSG bewertet werden. (*Insoweit wird auf die allgemeinen Ausführungen verwiesen, s.o.*).

Ferner ist hier aber insbesondere auch die Spielzeugrichtlinie (2. ProdSV – 2009/48/EG) und die harmonisierte Norm EN71 einschlägig und zu beachten. Diese ist eine CE-Richtlinie, die beispielsweise auch vorschreibt, dass bestimmte Grenzwerte bei dem hergestellten Produkt einzuhalten sind. Wird dann auch noch mit eigens hergestellten Pulvermischungen oder Filamenten die Spielfigur erstellt, wäre auch noch die REACH-Verordnung (Chemikalien) zu beachten.

Dies gilt auch selbst dann, wenn die Figur nicht als Spielzeug an ein Kind, sondern von einem erwachsenen Sammler gekauft wird.

Als „**Bereitsteller**“ eines „**Produktes**“ im Rahmen einer „**Geschäftstätigkeit**“, jeweils i.S.d. ProdSG muss der Bereitsteller nach der 2.ProdSV (Spielzeugrichtlinie) eine Vielzahl von Vorschriften beachten. Im Streitfall muss er beweisen, dass er das Spielzeug sicher konstruiert hat und muss über die verwendeten Stoffe (3-D-Druckmaterialien) deklarieren können. Ihn treffen Kennzeichnungspflichten, die Pflicht zu Warnhinweisen und viele weitere Pflichten, z. B. auch die Pflicht zur Produktbeobachtung, die Pflicht zur Produktüberwachung, die Verpflichtung zum Rückruf, Melde- und Hinweispflichten (s.o. allgemeine Ausführungen).

Alle öffentlich-rechtlichen Verpflichtungen und anwendbaren Richtlinien sind entsprechend vom Verbraucher plötzlich auch zu beachten. Den Verwender des 3-D-

Druckers (= Verbraucher) treffen die gleichen Pflichten, wie einen gewerblichen bzw. geschäftsmäßig tätigen Hersteller, Importeur oder Händler.

Die umfangreichen Pflichten eines professionellen Wirtschaftsakteurs kann ein Verwender regelmäßig nicht ohne weiteres erfüllen. Es kann regelmäßig vielmehr davon ausgegangen werden, dass dem Verwender eines 3-D-Druckers nicht nur eine hierzu erforderliche fachliche Kompetenz fehlen dürfte, es fehlt auch an einer betrieblichen Organisation zur Abarbeitung der zahlreichen Pflichten fehlt. Dies gilt selbst dann, wenn dies nur in minderkaufmännischer Art und Weise erfolgt.

Darüber hinaus, kommen vollständige (zivilrechtliche) Haftungsausschlüsse nur bei Verträgen zwischen Privaten in Betracht.

Würde – wie in der 1. Abwandlung - der Verwender die Figur nur einmalig ausdrucken und verkaufen, gilt Folgendes:

Jedes in den Verkehr gebrachte und am Markt bereitgestellte Produkt i.S.d. ProdSG – unabhängig von der Art der Herstellung (z. B. additiv auf einem 3-D-Drucker) muss sicher sein. Es ist unabhängig, ob es sich um ein einzelnes Produkt handelt. Die Anwendbarkeit des ProdSG kann daher unterstellt werden.

Dass der Verwender eines 3-D-Druckers als Wirtschaftsakteur bewertet wird, kann hier aufgrund der Bereitstellung am Markt unterstellt werden, wobei es in jedem Fall selbstverständlich auf eine Einzelfallprüfung ankommt.

Produktspezifische Rechtsvorschriften oder bestimmte Gefährdungsbereichen mit weiteren Sonderpflichten sind hier zunächst nicht weiter ersichtlich (z. B. **Waffenrecht** etc.).

Ein Verbraucher d. h. der Verwender des 3-D-Druckers muss mithin damit rechnen, dass die zuständige Marktüberwachungsbehörde **Maßnahmen zur effektiven Gefahrenabwehr** trifft und zwar gegenüber dem Verbraucher oder auch gegenüber beteiligten Dritten (z. B. Transporteure, Zwischenhändler). Bei Gefahr im Verzug kommt zudem das allgemeine Polizei- und Ordnungsbehördenrecht gegenüber dem Verbraucher und Dritten zur Anwendung.

Dazu ist lediglich Voraussetzung, dass ein gegenwärtiges ernstes Risiko nicht anders bzw. nicht ausreichend effektiv bzw. nicht ausreichend zuverlässig, insbesondere nicht durch Maßnahmen gegen die im ProdSG vorstehend genannten Wirtschaftsakteure, zu beseitigen ist. Das allgemeine Polizei- und Ordnungsrecht eröffnet noch weitere Handlungsspielräume.

4.4.1.2 Bewertung nach dem Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)

Der Verwender eines 3-D-Druckers haftet zudem zivilrechtlich im Rahmen der gesetzlich geregelten Haftung des ProdHaftG, da er ein nach der Verbrauchererwartung fehlerhaftes Produkt zugänglich gemacht hat, das einen Schaden am Körper oder Gesundheit bzw. einer anderen Sache als dem Produkt selbst verursacht hat.

Vorliegend hat der Verwender des 3-D-Druckers der Erwartung an eine Figur für den Verwendungszweck als Spielfigur nicht entsprochen, wenn bei der Herstellung eine zu beachtende Vorgabe nach der Spielzeugrichtlinie oder z. B. der REACH-

Verordnung nicht eingehalten wurde. In dem Beispiel – gemäß 2. Abwandlung – wurde ein Produkt in den Verkehr gebracht, das zur Erkrankung des Moritz führte, infolgedessen haftet der Hersteller bzw. eben auch der herstellende Verbraucher (d. h. der Verwender des 3-D-Druckers) für als dadurch kausal verursachten Schäden. Die Höhe solcher Schäden kann erheblich sein.

Der Verwender des 3-D-Druckers haftet daher in diesem Fall wie ein Hersteller verschuldensunabhängig für sein Handeln nach dem ProdHaftG.

4.4.1.3 Bewertung vertraglicher und gesetzlicher Haftungstatbestände

Hinzu kommt je nach Fall eine weitere gesetzliche und auch vertragliche Haftung in Betracht. Vorliegend besteht ein **Kaufvertrag**, so dass regelmäßig nach **Vertragsrecht und BGB** gehaftet wird. Dies bedeutet beispielsweise die Haftung für Sachmängel, bei Nichterfüllung, bei Unmöglichkeit der Leistung, auf Nacherfüllung und auf Schadensersatz.

Darüber hinaus kommen **Ansprüche aus deliktischer Haftung** gemäß § 823 (1) BGB in Betracht sowie aus 823 (2) BGB i.V.m. einer Schutzvorschrift und aus §826 BGB.

4.4.1.4 Spezialrecht

Vorsorglich wird auszugsweise auf die folgenden Rechtsvorschriften verwiesen, die hier im Fall auch noch einschlägig sein könnten:

Verletzung von Vorschriften über das Urheberrecht aufgrund der unzulässigen Verwendung von Druck-Datenmodellen und Druck-Vorlagen; Verletzung von Patenten oder Markenrechten, wenn patent- oder markengeschützte Produkte nachgebaut werden.

4.4.1.5 sonstiges ÖR // VI. Strafrecht

Als sonstiges öffentliches Recht kommt das Polizei- und Ordnungsrecht in Betracht, insbesondere bei Gefahr im Verzug. Das Strafrecht bleibt bestehen.

4.4.2 **Szenario 2**

Ein Verwender eines 3-D-Druckers erwirbt aus dem Internet von einer Internetplattform rechtmäßig eine Druckvorlage für ein Produkt (z. B. Spielfigur oder Lampenschirm). Er lädt die Druckvorlage herunter, um damit das Produkt am heimischen 3-D-Drucker zu „drucken“ (= herstellen). Er will das Produkt für den Eigengebrauch drucken.

1. Abwandlung:

Die Druckvorlage wird auf einer Open-Source-Plattform erworben. Es handelt sich dabei um Software, genauer gesagt um den Quellcode, der öffentlich zugänglich ist und von Dritten (meist kostenlos) beliebig kopiert, eingesehen, genutzt und verändert werden darf.

Es ist nicht festzustellen, wer die Druckvorlage entworfen und angefertigt hat und ob sie rechtmäßig erworben wurde. Der Verwender druckt das Produkt für sich selbst am heimischen Drucker aus.

2. Abwandlung:

Der Verwender eines 3-D-Druckers erwirbt von einer Plattform eine Druckvorlage. Allerdings nimmt er an der erworbenen Druckvorlage selbstständig Änderungen vor.

4.4.2.1 Bewertung nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)

Zunächst ist beim Szenario 2 bereits fraglich, ob das ProdSG überhaupt anwendbar ist, da der Verwender des heimischen 3-D-Druckers das Produkt für den Eigengebrauch druckt. Die Anwendbarkeit des ProdSG setzt voraus, dass es sich um ein **Bereitstellen auf dem Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit** handelt. Daran fehlt es im vorliegenden Fall, weil der Verwender hier nicht zu kommerziellen Zwecken handelt. Auch die Nutzung der „fremden“, nicht von ihm selbst hergestellten Druckvorlage stellt in diesem Fall für die Marktüberwachung keine relevante Handlung im Sinne des ProdSG dar, weil auch diese Vorbereitungshandlung nicht als Teilnahme am Marktgeschehen im Sinne einer Geschäftstätigkeit zu qualifizieren ist.

Derjenige, der die Druckvorlagen bereitstellt, könnte ebenfalls nur dann mit seinem Handeln in den Anwendungsbereich des ProdSG fallen, wenn ein Bereitstellen auf dem Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit vorliegt. Zudem müsste es sich - sollte z. B. ein entgeltliches Bereitstellen der Druckvorlage auf dem Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit vorliegen - bei der Druckvorlage um ein Produkt im Sinne des ProdSG handeln. Bei einem nicht verkörperten Datenträger, wenn wie im vorliegenden Fall, die Druckvorlage nur als Download im Internet bereitgestellt wird, ist bereits die Produkteigenschaft im Sinne des ProdSG rechtlich zweifelhaft und in der Rechtsprechung umstritten. Bei einer fehlerhaften Druckvorlage (Software), deren Verwendung im 3-D-Druck zu einem nicht verwendungssicheren Produkt im Sinne des ProdSG und/oder anderer spezialgesetzlicher Vorschriften (Spielzeugrichtlinie, Maschinenrichtlinie etc.) führt, ist es danach fraglich, ob die Marktüberwachung auf der Basis des ProdSG bereits gegen den Hersteller/Bereitsteller der fehlerhaften Software/Druckvorlage oder nur gegen den Hersteller/Bereitsteller des danach gedruckten Produkts vorgehen kann, vorausgesetzt, dass dieser wiederum auch seinerseits im Rahmen einer Geschäftstätigkeit diese Produkte auf dem Markt bereitstellt. Ansonsten kämen für behördliche bzw. polizeiliche Maßnahmen zur ggf. erforderlichen Gefahrenabwehr lediglich die Vorschriften des allgemeinen Polizei- und Ordnungsrechts und/oder des Strafrechts als behördliche Ermächtigungsgrundlage in Betracht.

4.4.2.2 Bewertung nach dem Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)

Nach der gesetzlich geregelten Haftung aus dem ProdHaftG haftet der Hersteller des Produktes verschuldensunabhängig. Hersteller ist gemäß § 4 I ProdHaftG jeder, der das Endprodukt hergestellt hat. Hier ist also der Verwender Hersteller, weil er an seinem 3-D-Drucker das Produkt ausdruckt und damit als Endprodukt herstellt.

Der Verwender des 3-D-Druckers, der hier zum Hersteller wird, muss dafür Sorge tragen, dass das von ihm produzierte Produkt sicher ist und keine Schäden an Körper, Gesundheit oder anderen Sachen verursacht. Solange er die Produkte nur für

sich selbst verwendet, bestehen keine Bedenken. Sollte er die ursprünglich für ihn bestimmten Produkte später doch verkaufen, muss er dafür Sorge tragen, dass durch seine Produkte niemand zu Schaden kommen kann. Er gilt als Hersteller der Sache und haftet entsprechend der Vorschriften verschuldensunabhängig gemäß § 4 I ProdHaftG. Solange der Verwender des 3-D-Druckers die Produkte wirklich nur für den Eigengebrauch herstellt, bestehen keine Bedenken. Er nimmt nicht am Marktleben teil, weil er eine eigene Druckvorlage und einen eigenen 3-D-Drucker verwendet und damit niemand anderes mehr am Fertigungsprozess beteiligt ist außer ihm.

Der „herstellende“ Verwender des 3-D-Druckers haftete alleine. Ein Mitverschulden kann nur bejaht werden, wenn dem Dritten (z. B. Hersteller der Druckvorlage) vorher mitgeteilt wurde, wozu z. B. die Druckvorlage benötigt wird und dass diese sonst für die Herstellung des Produkts unbrauchbar ist. Die eigene Haftung wird dadurch zwar nicht ausgeschlossen, allerdings könnten Ansprüche gegen den Hersteller der Druckvorlage in Betracht kommen. Bei Druckvorlagen ist allerdings sorgfältig zu prüfen, ob nicht nur eine reine Dienstleistung vorliegt.

4.4.2.3 Bewertung vertraglicher und gesetzlicher Haftungstatbestände

Es kommen auch weitere gesetzliche und vertragliche Haftungsansprüche in Betracht. Vorliegend hier besonders nach deliktischer Haftung. Dies setzt einen schuldhaften Pflichtenverstoß voraus, d.h. vorsätzliches oder fahrlässiges Handeln. In Betracht kommt dabei die Überprüfung der erworbenen Druckvorlage. Der Verwender des 3-D-Druckers könnte fahrlässig verkannt haben, dass die Druckvorlage für die Produkte nicht geeignet und fehlerhaft ist.

Durch die rechtmäßige und seriöse Internetplattform im *Ausgangsfall* durfte der Verwender des 3-D-Druckers davon ausgehen, dass die dort erworbene Druckvorlage fehlerfrei und zum Herstellen der gewünschten Produkte geeignet ist. Ein Pflichtenverstoß ist hier nicht zu erkennen.

In der 1. *Abwandlung* hingegen musste der Verwender des 3-D-Druckers damit rechnen, dass die Druckvorlage nicht mehr im Originalzustand auf der Seite zur Verfügung steht. Das Prinzip der Open-Source-Plattformen ist gerade das gemeinsame Ändern und Verbessern der Software. Es muss aber dabei auch mit fehlerhaften Überschreibungen des Quellcodes gerechnet werden. Zudem konnte der Verwender des 3-D-Druckers nicht zurückverfolgen, woher die Software ursprünglich stammt und somit keine Rückschlüsse auf die Legalität und Qualität der Druckvorlage schließen. Es besteht also nur seine alleinige Haftung, weil er niemand anderen ausfindig machen kann, um ihn in die Verantwortung zu nehmen. Er hätte die Vorlage eventuell überprüfen müssen, um sicherzustellen, dass sie auch ein fehlerfreies Produkt generiert.

Bei der 2. *Abwandlung* haftet der Verwender des 3-D-Druckers ebenfalls ganz allein, da er die verwendete Druckvorlage selbst verändert hat und somit selbst für Fehler haftet.

4.4.2.4 Spezialrecht

Als Spezialrecht wird wegen der Nutzung der Druckvorlage noch auf das Urheberrecht verwiesen.

Ebenso könnten Patent- und Markenrechte betroffen sein, falls geschützte Produkte nachgebaut werden.

Zudem könnte eventuell das IT-Datenrecht oder Sicherheitsrecht betroffen sein, weil die Druckvorlagen über Internetplattformen erworben wurden und damit automatisch Daten weitergegeben werden.

4.4.2.5 Sonstiges ÖR // VI. Strafrecht

Als sonstiges öffentliches Recht kommt das Polizei- und Ordnungsrecht in Betracht, insbesondere bei Gefahr im Verzug. Das Strafrecht bleibt bestehen.

4.4.3 **Szenario 3**

Ein Verwender eines 3-D-Druckers erstellt selbstständig eine Druckvorlage für ein Objekt und stellt diese auf einer Open-Source-Plattform zum Download bereit. Die Druckvorlage wurde durch einen 3-D-Scan erstellt.

4.4.3.1 Bewertung nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)

Siehe hierzu oben die Ausführungen unter 4.4.2.1.

Die Anwendbarkeit des ProdSG setzt voraus, dass ein Bereitstellen eines Produkts am Markt im Rahmen einer Geschäftstätigkeit erfolgt.

4.4.3.2 Bewertung nach dem Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)

Bei der Produkthaftung nach dem ProdHaftG haftet der Hersteller verschuldensunabhängig für sein Produkt. Fraglich ist in diesem Beispiel, ob der Verwender eines 3-D-Druckers, der die Druckvorlage bereitstellt auch der Hersteller dieser ist. Problematisch ist hierbei das Hochladen auf eine Open-Source-Plattform.

Hersteller ist gemäß § 4 I ProdHaftG jeder, der ein „Endprodukt, einen Grundstoff oder ein Teilprodukt hergestellt hat“. Fraglich ist daher, ob es sich bei dem Hochladen der Druckvorlage um ein Endprodukt handelt. Dann wäre klar, dass der Verbraucher auch Hersteller wäre. Durch die Möglichkeit des Veränderns durch Open-Source-Plattformen, kann ein Endprodukt aber nicht vorliegen. In Betracht käme dies höchstens, wenn ein Nutzer der Plattform die hochgeladene Druckvorlage herunterlädt, bevor diese verändert wurde. Dann hat der Verwender eines 3-D-Druckers ein Endprodukt geschaffen, für das er als Hersteller haftet.

Möglich könnte aber auch sein, dass der Verwender eines 3-D-Druckers durch seine Druckvorlage ein Teilprodukt herstellt. Teilprodukte sind entweder Materialien oder Gegenstände, „die üblicherweise *noch zur weiteren Verarbeitung in einem anderen Produkt vorgesehen* sind, bevor dieses dem Endabnehmer präsentiert“ wird. Hersteller von Teilprodukten haften für von ihrem Teilprodukt verursachte Schäden. Die Beweislast liegt dabei beim Teilhersteller.

Gemäß § 4 II gilt als Hersteller aber auch, „wer ein Produkt zum Zweck des Verkaufs, der Vermietung, des Mietkaufs oder einer anderen Form des Vertriebs mit wirtschaftlichem Zweck im Rahmen seiner geschäftlichen Tätigkeit in den Geltungsbereich des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum einführt oder ver-

bringt“. Der Verwender eines 3-D-Druckers stellt die Druckvorlage online. Durch diesen Vorgang, könnte er sie gemäß der Definition „vertreiben“. Allerdings sind Open-Source-Plattformen meistens kostenlos, sodass diese Definition nicht greift, weil kein wirtschaftlicher Zweck gegeben ist. Wenn keine wesentlichen Veränderungen an der Druckvorlage vorgenommen werden, hat weiterhin der Verwender eines 3-D-Druckers ein Produkt hergestellt. Dementsprechend gilt nach wie vor der Verwender eines 3-D-Druckers als Hersteller und haftet entsprechend des ProdHaftG.

Allerdings ist Hersteller ist auch, wer ein Produkt „wesentlich verändert und erneut in den Verkehr bringt“. Dies könnte auf die Programmierer der Open-Source-Plattform zutreffen. Sie überarbeiten die Vorlage und bringen sie dann wieder in den Verkehr. Fraglich bleibt dabei, ob die vorgenommenen Veränderungen wesentlich genug sind, um ein neues Produkt hergestellt zu haben.

4.4.3.3 Bewertung vertraglicher und gesetzlicher Haftungstatbestände

Neben dem ProdHaftG kommen auch andere vertragliche oder gesetzliche Haftungstatbestände in Betracht. Aus vertraglicher Haftung ist besonders auf den Lizenzvertrag §§ 311, 241 BGB zu achten. Ebenso zu beachten sind die gängigen gesetzlichen Haftungstatbestände des Deliktrechts gemäß § 823 BGB.

4.4.3.4 Spezialrecht

Als Spezialrecht kommt auf jeden Fall das Urheberrecht in Betracht. Durch das Ab-scannen von Produkten zum Erstellen von Druckvorlagen werden Urheberrechte verletzt. Zu berücksichtigen ist auch die Mitte 2018 kommende Datenschutzverordnung bei Körperscans und das reverse engineering.

Zudem kommen Patent und Markenrechtsverletzung in Betracht, wenn durch den Scan markengeschützte Produkte nachgebaut werden sollen.

Möglich sind auch Urheberrechtverletzungen bei der Druckvorlage, wobei diese ja gerade durch die Open-Source-Plattform an andere weitergegeben werden soll.

Zudem könnte eventuell IT-Datenrecht oder Sicherheitsrecht betroffen sein, weil die Druckvorlagen über Internetplattformen erworben wurden und damit automatisch Daten weitergegeben werden.

4.4.3.5 sonstiges ÖR// VI. Strafrecht

Als sonstiges öffentliches Recht kommt das Polizei- und Ordnungsrecht in Betracht, insbesondere bei Gefahr im Verzug. Das Strafrecht bleibt bestehen.

4.4.4 **Szenario 4**

Der Verwender eines 3-D-Druckers druckt ein Ersatzteil (z. B. für sein Fahrrad), welches in einer kritischen Situation versagt und ein Dritter kommt dadurch zu Schaden. Die Druckvorlage wurde durch den Verwender mittels eines 3-D-Scans erzeugt und das Teil durch einen Dienstleister (Auftragsdruck) hergestellt.

- Wer ist für den eingetretenen Schaden wie haftbar?

Abwandlung:

Der Verwender eines 3-D-Druckers wechselt bei einem bestehenden Produkt (z. B. Fahrrad) ein Teil, welches nach seiner Druckvorlage per Auftragsdruck angefertigt wurde. Das Fahrrad wird anschließend durch den Verbraucher als Gebrauchtware verkauft.

- Wird der Verwender eines 3-D-Druckers damit zum Hersteller nach ProdHaftG bzw. kann er für den eingetretenen Schaden haftbar gemacht werden?

4.4.4.1 Prüfung nach ProdSG und ProdSV (Richtlinien)

Sowohl bei der vom Verwender eines 3-D-Druckers erstellten Druckvorlage als auch bei dem danach ausgedruckten Ersatzteil handelt es sich um Produkte im Sinne des ProdSG (siehe oben unter den allgemeinen Anforderungen und unter Szenario 3).

Das ProdSG ist aber in Bezug auf eine ggf. durch den Verwender des 3-D-Druckers fehlerhaft erstellte Druckvorlage nicht anwendbar, da in diesem Fall erkennbar keine „Geschäftstätigkeit“ im Sinne des ProdSG vorliegt, sondern vom Verwender des 3-D-Druckers das Ersatzteil nur für sein Fahrrad hergestellt wird. *(Insoweit wird auf die allgemeinen Ausführungen verwiesen, s.o.).*

Der Auftragsdrucker als gewerblich handelnder Dienstleister handelt allerdings im Rahmen einer Geschäftstätigkeit. Er könnte danach als Wirtschaftsakteur auch Hersteller und damit Adressat des ProdSG sein und zwar unabhängig davon, ob sich der Produktfehler aus einem Fehler der Druckvorlage und/oder des Ausdruckverfahrens ergibt. Fraglich ist allerdings, ob er gemäß § 2 Nr. 14 ProdSG das Produkt auch unter seinem Namen oder seiner Marke auf dem Markt bereitstellt.

Daran könnte man hier zweifeln, da er nur einen Auftragsdruck ausführt. Andererseits wird gem. § 2 Nr. 14 ProdSG auch ausdrücklich derjenige als Hersteller qualifiziert, der die Sicherheitseigenschaften eines Verbraucherproduktes beeinflusst und diese anschließend auf dem Markt bereitstellt. In diesem Sinne könnte man das Ausdrucken nach einer Druckvorlage auch ohne weiteres unter den Herstellerbegriff des ProdSG subsumieren. Nach dem Regelungszusammenhang des ProdSG dürfte danach auch für den Auftragsdrucker das ProdSG anwendbar sein, weil auch er Herstellereigenschaft im Sinne des Gesetzes hat.

4.4.4.2 Prüfung nach ProdHaftG

Bei der Produkthaftung nach dem ProdHaftG haftet ein Hersteller verschuldensunabhängig für sein Produkt.

Hinsichtlich der Herstellung der Druckvorlage siehe zunächst die Ausführungen und Szenario 3. Hier kommt eine Anwendung des ProdHaftG für den Verwender des 3-D-Druckers nicht in Betracht, da er diese Vorlage nur für private Zwecke erstellt hat. Das danach hergestellte Ersatzteil soll in sein (privat genutztes) Fahrrad eingebaut werden.

Der Auftragsdrucker als gewerblich handelnder Dienstleister handelt allerdings unternehmerisch im Rahmen einer Geschäftstätigkeit bei der Herstellung des Ersatzteils und zwar unabhängig davon, ob er, wie in diesem Fall, nur im Auftrag und nach

einer Vorlage des Verwenders des 3-D-Druckers gehandelt hat. Er könnte danach auch als Hersteller für einen Produktfehler haften, soweit dieser in seinem Verantwortungsbereich, z. B. in Gestalt eines fehlerhaften Druckprozesses bzw. Druckverfahrens liegt.

4.4.4.3 Vertragsrecht (Haftungsrecht)

Der Auftragsdrucker könnte für den ggf. fehlerhaften Druck des Ersatzteils nach allgemeinen Grundsätzen dem Verwender des 3-D-Druckers als Auftraggeber auf Gewährleistung (Nacherfüllung) und evtl. auch für Mangelfolgeschäden bei einem schuldhaft verursachten Produktfehler haften. Als „verlängerte Werkbank“ haftet er aber nicht für Design-/Konstruktionsfehler, sondern für Fehler im Druckprozess.

Vertragliche Ansprüche des geschädigten Dritten sind weder gegen den Verwender des 3-D-Druckers noch gegen den Auftragsdrucker ersichtlich.

4.4.4.4 Gesetzesrecht (insbes. Deliktsrecht)

Eine verschuldensabhängige Haftung gem. § 823 BGB kommt grundsätzlich auf Seiten des Verwenders des 3-D-Druckers, z. B. wegen fahrlässig fehlerhaft erstellter Druckvorlage, aber auch auf Seiten des Auftragsdruckers in Betracht, z. B. bei fehlerhaftem Druckverfahren.

4.4.4.5 Strafrecht

Bei fahrlässiger Verletzung gebotener Sorgfaltspflichten auf Seiten des Verwenders des 3-D-Druckers und/oder des Auftragsdruckers kommt auch die Verwirklichung von Straftatbeständen (fahrlässige Körperverletzung etc.) in Betracht (Deliktsrecht).

Szenario 4 Abwandlung:

Abwandlung:

Der Verwender eines 3-D-Druckers wechselt bei einem bestehenden Produkt (z. B. Fahrrad) ein Teil, welches nach seiner Druckvorlage per Auftragsdruck angefertigt wurde. Das Fahrrad wird anschließend durch den Verbraucher als Gebrauchtware verkauft. Wird der Verwender eines 3-D-Druckers damit zum Hersteller nach ProdHaftG bzw. kann er für den eingetretenen Schaden haftbar gemacht werden?

ProdSG und ProdHaftG sind hier für den Verwender eines 3-D-Druckers nicht unmittelbar anwendbar, da er im Fallbeispiel nicht im Rahmen einer Geschäftstätigkeit bzw. unternehmerisch handelt.

Eine Haftung des Verwenders eines 3-D-Druckers für Produktfehler kann im Rahmen vertraglicher Gewährleistung verschuldensunabhängig auf Nacherfüllung und weitergehend auch verschuldensabhängig bei mangelbedingt eintretenden Folgeschäden auf Seiten des Käufers in Betracht kommen.

Außervertraglichen Dritten gegenüber haftet der Verwender eines 3-D-Druckers verschuldensabhängig für ggf. durch den Produktfehler eintretende Substanzschäden am Eigentum und/oder an der Person gemäß §§ 823 ff. BGB.

4.4.5 Szenario 5

Ein Verwender eines 3-D-Druckers verleiht seinen 3-D-Drucker (= Verleiher) an einen Dritten (= Entleiher) bzw. stellt ihn leihweise zur Nutzung durch einen Dritten bereit. Was gilt es zu beachten?

Abwandlung:

Kann der Verwender eines 3-D-Druckers für ein Druckobjekt, das anhand einer illegal erworbenen Druckvorlage durch einen Dritten hergestellt wurde, haftbar gemacht werden?

4.4.5.1 Prüfung nach ProdSG und ProdSV (Richtlinien)

Durch einen sog. Leihvertrag nach §§ 598ff. BGB ist der Verleiher einer Sache verpflichtet, dem Entleiher den Gebrauch der Sache unentgeltlich zu gestatten (§ 598 BGB). Gestatten ist eine Holschuld (§ 269 BGB), die den Entleiher dazu verpflichtet, sich den Besitz an der Sache (§ 854 BGB) zu verschaffen bzw. zu gestatten und sich entsprechend zu verhalten.

Der Leihvertrag unterscheidet sich damit wesentlich vom Mietvertrag (§§ 535 ff. BGB), bei dem der Vermieter dem Mieter gegenüber eine Gebrauchsgewährspflicht trifft. Der Verleiher hat nicht die Pflicht, die Sache (den verliehenen 3-D-Drucker) für den vertragsgemäßen Gebrauch instand zu setzen und instand zu halten. Im Klartext: der Verleiher kann einen unsicheren 3-D-Drucker verleihen und er haftet nur für Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit. Da die Leihe unentgeltlich erfolgt, ist die Gebrauchsgestattung uneigennützig und der Haftungsrahmen begrenzt.

Gleichwohl haftet der Verleiher, wenn er arglistig einen Mangel an Rechten oder Fehler an der verliehenen Sache zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses bzw. der Besitzüberlassung verschweigt.

Ist zwischen Verleiher und Entleiher vereinbart, dass nur ein bestimmter Gebrauch der Sache erfolgen soll, z. B. nur Verwendung von Druckvorlagen, mit denen keine Rechte Dritter verletzt werden bzw. nur Verwendung bestimmter Materialien, so ist der Dritte nicht dazu berechtigt, die Sache anderweitig zu nutzen (§§ 599 – 603 BGB). Auch darf er die Sache nicht an andere Dritte überlassen.

Es sollte daher Folgendes beachtet werden und aus **Sicht des Verleihers** in einen entsprechenden **Leihvertrag** aufgenommen werden:

- Vereinbarung über Nutzungsrahmen im Rahmen des üblichen Betriebes mit den üblichen Werkstoffen, ggf. Vorgabe von Werkstoffen
- Verpflichtung des Entleihers alle rechtlichen Vorgaben zu beachten
- Verpflichtung des Entleihers einen sicheren Betrieb durch Beachtung der Betriebsanleitung, der Rahmenbedingungen für den sicheren Betrieb und weiteren Informationen des Verleihers sicherzustellen
- weitere Information dem Entleiher zur Verfügung stellen, insbesondere auch Auszug zu den rechtlichen Dimensionen (s.o. Hinweise auf Vorschriften)
- Gestaltung einer Haftungsbegrenzung für den Verleiher im Innenverhältnis zum Entleiher durch Einschränkung der Haftung des Verleihers auf Vorsatz (§ 599 BGB ist dispositiv)

- Untersagung einer abweichenden Nutzung
- Hinweis im Vertrag auf Bedeutung und Ausschluss einer gewerblichen bzw. geschäftlichen Nutzung verliehener Sache, die auch für hergestellte Sachen gilt
- Hinweis im Vertrag auf Bedeutung der „Geschäftstätigkeit“ und der „Bereitstellung“ im Sinne ProdSG, ProdHaftG
- Haftungshinweise für Entleiher, ggf. Prüfung der Versicherbarkeit.
- Hinweis, dass bei einer Bereitstellung im Rahmen einer Geschäftstätigkeit den Verantwortlichen alle öffentlich-rechtlichen Verpflichtungen und anwendbaren Richtlinien treffen (auch den „vermeintlichen“ Verbraucher), d.h. die gleichen Pflichten, wie einen Hersteller, Importeur oder Händler.

Die umfangreichen Pflichten eines professionellen Wirtschaftsakteurs kann ein Verbraucher (= Verwender eines 3-D-Druckers) regelmäßig nicht erfüllen. Es kann regelmäßig vielmehr davon ausgegangen werden, dass dem Verbraucher nicht nur eine hierzu erforderliche fachliche Kompetenz fehlen dürfte, es fehlt auch an einer betrieblichen Organisation zur Abarbeitung der zahlreichen Pflichten fehlt.

Abwandlung:

Die Verwendung einer illegal erworbenen Druckvorlage führt zur Haftung des Verwenders. Dies bedeutet, dass neben zivilrechtlichen Ansprüchen auch strafrechtliche Folgen den Verwender treffen können.

Bei Gefahr im Verzug kommt zudem neben spezialgesetzlichen Vorschriften auch noch das allgemeine Polizei- und Ordnungsbehördenrecht gegenüber dem Verbraucher und Dritten zur Anwendung. Dies bedeutet in der Praxis, dass Produkte, Drucker und Werkstoffe beschlagnahmt werden können.

Für den Verbraucher, der ein solches Produkt verwendet, gilt: er ist dafür verantwortlich, wenn er mit illegalen Vorlagen erstellte Gegenstände (z. B. eine geschützte Marken-Sonnenbrille, eine Waffe) besitzt und verwendet. Diese wurden unter Verstoß gegen Rechte Dritter erworben und verwendet, so dass dies vom Berechtigten oder bei öffentlichem Interesse auch von hoheitlicher Seite aus öffentlich-rechtlich, zivil- und strafrechtlich verfolgt werden kann. Dazu gehört auch die Beschlagnahme, Einziehung und Vernichtung solcher Gegenstände und Schadensersatzansprüche geschädigter Dritter.

4.4.5.2 Prüfung nach ProdHaftG

Abwandlung

Der druckende Dritte (= Verbraucher) haftet insbesondere auch zivilrechtlich im Rahmen der gesetzlich geregelten Haftung des ProdHaftG, wenn er ein nach der Verbrauchererwartung fehlerhaftes Produkt dem Markt oder anderen Verbrauchern zugänglich gemacht hat, das einen Schaden am Körper oder Gesundheit bzw. einer anderen Sache als dem Produkt selbst verursacht hat. Dies ist unabhängig davon, woher er die Druckvorlage gezogen hat.

Vorliegend hat der Verbraucher die Erwartung, dass das von ihm erworbene und verwendete Druckerzeugnis ohne Einschränkungen bestimmungsgemäß genutzt werden kann. Er darf auch erwarten, dass er nicht die Rechte Dritter verletzt (z. B. Markenrechte, Lizenzrechte). Er darf auch erwarten, dass er eine Sache frei von

Rechten Dritter erwirbt. Nicht zuletzt darf er erwarten, dass er sich durch die bestimmungsgemäße Benutzung bzw. dessen Besitz im Allgemeinen nicht strafbar macht (z. B. Waffen nach KrWaffKontrG, Verletzung geschützter Markenrechte).

Wer ein Produkt in den Verkehr bringt, haftet als Hersteller bzw. auch als herstellender Verbraucher für als dadurch kausal verursachte Schäden. Eine Haftungsbegrenzung gibt es zunächst nicht.

Der Verbraucher haftet daher in diesem Fall wie ein Hersteller verschuldensunabhängig für sein Handeln nach dem ProdHaftG.

4.4.5.3 Vertragsrecht (Haftungsrecht)

Abwandlung:

Wird ein Verbraucher haftbar gemacht, der ein aufgrund einer illegalen Vorlage hergestelltes Produkt erwirbt, kann er sich auch an den Hersteller halten und entsprechende vertragliche und außervertragliche Ansprüche geltend machen.

Es kommen dann je nach Fallgestaltung gesetzliche und auch vertragliche Haftungstatbestände in Betracht. Vorliegend besteht ein Vertrag, so dass regelmäßig nach Vertragsrecht und BGB gehaftet wird. Dies bedeutet beispielsweise die Haftung für Sachmängel, bei Nichterfüllung, bei Unmöglichkeit der Leistung, auf Nacherfüllung und auf Schadensersatz.

4.4.5.4 Gesetzesrecht (insbes. Deliktsrecht)

Darüber hinaus kommen Ansprüche aus deliktischer Haftung gemäß § 823 (1) BGB in Betracht sowie aus 823 (2) BGB i.V.m. einer Schutzvorschrift und aus §826 BGB.

Als sonstiges öffentliches Recht kommt das Polizei- und Ordnungsrecht in Betracht, insbesondere bei Gefahr im Verzug.

Wegen der verschiedenen rechtlichen Pflichten und Risiken wird privaten Verwendern von 3-D-Druckern ebenso wie Wirtschaftsakteuren empfohlen, sich - vor einer Verwendung von 3-D-Druckern und deren Zubehör, ebenso vor der Herstellung von Produkten mit dem 3-D-Drucker für den Verkauf an Dritte - rechtlich kundig zu machen.

5 Neue Risiken beim 3-D-Druck (AP 4)

Die Betrachtung der verschiedenen additiven Fertigungsverfahren offenbart, dass von den Verfahren in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Technologie verschiedene Gefahren ausgehen können. Nachfolgend sind beispielhaft einige Gefährdungspotenziale aufgeführt:

- Optische Strahlung
 - Laserstrahlung
 - UV-Strahlung
- Thermische Gefährdungen
 - Kontakt mit heißen Oberflächen
- Elektrische Gefährdungen
 - Kurzschluss
- Umgang mit Gefahrstoffen
 - Lösungsmittel
 - Flüssige Epoxidharze
- Brand- und Explosionsgefahr
 - Umgang mit Pulverwerkstoffen
 - Flammenbildung durch einwirkende Energiequelle
- Mechanische Gefährdung
 - Scharfe Kanten
 - Kontrolliert bewegte ungeschützte Teile

Besonders die Nutzung von additiven Fertigungsverfahren in Berufsfeldern, die zuvor keinen oder wenig Kontakt mit derartigen Gefährdungspotenzialen hatten, gilt es, diese Gefährdungen zu berücksichtigen. Dazu zählen z. B. Anwendungen in der Kunst, im Modellbau oder der Architektur. Auch für die Aufstellung der bürotauglichen Anlagen in Büroumgebungen müssen geeignete Maßnahmen wie ausreichende Belüftung oder ggf. Absaugeinrichtungen getroffen werden.

Das Wissen um Gefährdungen und die hierfür zugrundeliegenden Gefährdungsfaktoren gilt es zudem Privatanwendern und „Makern“ näherzubringen. Sie stellen bereits eine große Nutzergruppe von Fabbern und Desktop 3-D-Druckern dar und sind im Gegensatz zu industriellen Anwendern selbst für ihre Sicherheit beim Umgang mit 3-D-Druckern und den zugehörigen Materialien verantwortlich.

Neben dem Wissen um die Gefährdungen sollen auch Informationen über Risiken zusammen und den Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Das Risiko quantifiziert mögliche Gefährdungen und gibt damit noch einmal einen Hinweis auf Erfordernisse und Dringlichkeit zur Ergreifung von Schutzmaßnahmen.

Die Risikobetrachtungen wurden für die sieben Verfahrenskategorien aus Kapitel 2 durchgeführt:

- | | |
|---|---------------------------------|
| • Wannenbasierte
Photopolymerisation | • Bindemittelauftrag |
| • Werkstoffextrusion | • Pulverbettbasiertes Schmelzen |
| • Werkstoffauftrag | • Schichtlaminiierung |
| | • Gerichtete Energieeinbringung |

Sie basieren auf theoretischen Betrachtungen und nicht auf praktischen Untersuchungen. Sie stellen eine erste Zusammenstellung dar und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die konkreten betrieblichen Rahmenbedingungen für den Einsatz der 3-D-Drucker konnten keine Berücksichtigung finden. Sie sollen dem Nutzer eine Übersicht über mögliche Gefährdungen und Risiken vermitteln und ihn für die Gefährdungsthematik sensibilisieren.

Die in Anhang 16 bis Anhang 22 zusammengestellten Risikobeurteilungen für die o. g. Verfahrenskategorien beinhalten jeweils:

- mögliche Gefährdungsfaktoren
- eine Beschreibung der daraus resultierenden möglichen Gefährdungen
- eine Einschätzung der Schadensschwere und der Eintrittswahrscheinlichkeit je Gefährdung und
- eine Ableitung eines Risikowertes verbunden mit der Formulierung eines Handlungsbedarfes

Methodisch basiert die Risikobeurteilung auf dem Verfahren nach NOHL (1989). Für die Ableitung eines Handlungsbedarfes wurde die im Folgenden dargestellte Matrix verwendet.

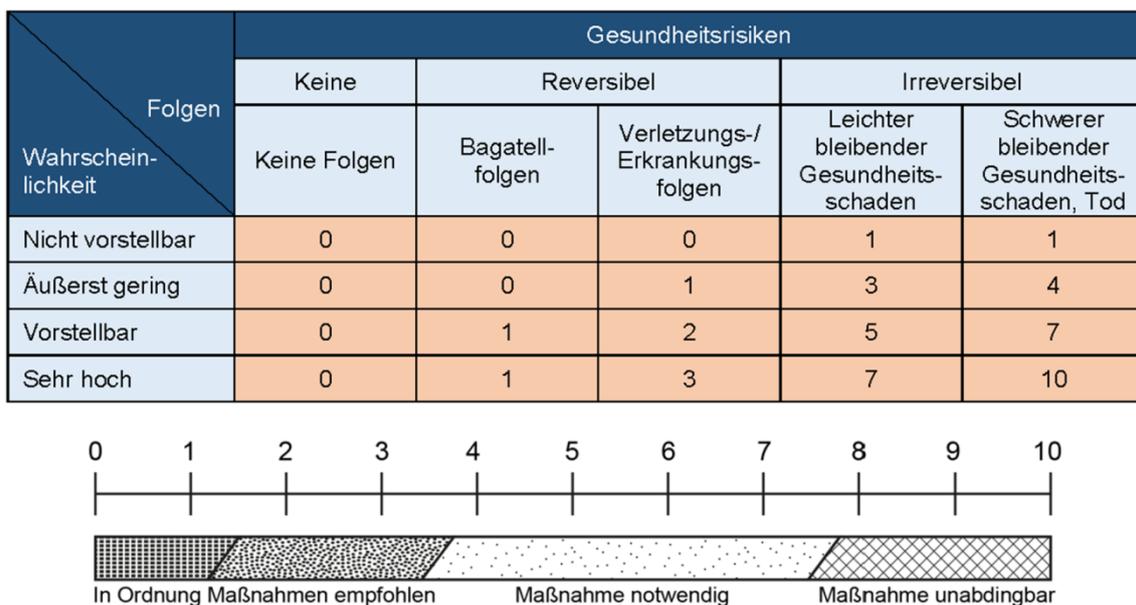


Abb. 5.1 Risikomatrix nach NOHL (1989)

Für eine übersichtliche Zusammenstellung der verschiedenen additiven Fertigungsverfahren wurde die Steckbriefe zu den einzelnen Verfahren (vgl. Abschnitt 2.1.11) jeweils um den Punkt „Potenzielle Gefährdungen“ ergänzt, sodass die verfahrenabhängigen Gefährdungen ebenfalls aus den Steckbriefen ersichtlich sind.

6 Informationserfordernisse für Marktaufsichtsbehörden (AP 5) und Workshop (AP 6)

Neben der Literaturanalyse und Expertenbefragungen wurden in einem Workshop gemeinsam mit Verwendern bzw. der Marktüberwachung und weiteren Experten Informationserfordernisse für die jeweiligen Zielgruppen herausgearbeitet. Als Zielgruppen für die Informationsbroschüren wurden festgelegt:

- Wirtschaftsakteure
- Verwender von 3-D-Druckern
- Marktüberwachung

Der Workshop fand am 08.02.2018 in Dresden statt. In einem ersten Arbeitsschritt wurden im Teilworkshop 1 Probleme und Szenarien im Zusammenhang mit dem 3-D-Druck hinsichtlich ihrer Relevanz für die Praxis besprochen. Dabei wurde unterschieden zwischen der Relevanz für die Marktüberwachung, für Verbraucher und für Wirtschaftsakteure. Zudem wurden weitere Problemfelder abgefragt.

Marktüberwachung ● Verbraucher ● Wirtschaftsakteur (z. B. Hersteller 3-D-Drucker) ●		Relevanz in der Praxis				
<i>von 1=sehr geringe bis 5=sehr hohe Relevanz</i>		1	2	3	4	5
1	Z. T. fehlende Standards für Druckmaterialien					
	Eigenschaften/Inhaltsstoffe der Druckmaterialien teilweise unbekannt			●	●●	
	Verunreinigung offener Materialien (Pulver, Harze)				●●	
	Potenzielle Gesundheitsrisiken durch Druckmaterialien				●●	
2	Baukästen für den Selbstbau von 3-D-Druckern	●			●●	
3	Verwendung von 3-D-Druckern in Schulen					●
4	Gewerbliche Vermietung von 3-D-Druckern oder öffentliche Zugänglichmachung der 3-D-Drucker				●	
5	Kopieren bestehender Produkte (z. B. LEGO)				●	
6	Bezug von CAD-Dateien über Plattformen					
7	Druckvorlage für Spielzeug auf Plattform kostenpflichtig bereitgestellt → Verbraucher druckt entsprechend der Vorlage → Kind verletzt sich			●●●		
8	Identifizierung des Herstellers bei arbeitsteiligen Prozessen (CAD-Datei → 3-D-Druck → Bereitstellung auf dem Markt)					
9	Herstellung von Ersatzteilen	●		●●		
10	Softwarefehler (z. B. Extrusionsdüse heizt wenn Filamentvorrat leer)					

Für die Informationsbroschüre für Verbraucher:

- Die Rolle des Verbrauchers im Zusammenhang mit 3-D-Druck soll deutlich gemacht werden.
- Kauf- und Betriebshinweise sollen gegeben werden.
- Im Fokus sollen für den Verbraucher greifbare, relevante Szenarien stehen.
- Teile der Checklisten der Marktüberwachung können genutzt werden.
- Ausgewählte Steckbriefe für relevante Verfahren sollen aufgenommen werden.

Für die Informationsbroschüre für Hersteller/Wirtschaftsakteure:

- Nicht renommierte und erfahrene Hersteller sondern „kleine“ Hersteller von Druckern bzw. Produkten sollen im Vordergrund stehen
- Maßstab hierbei soll der Wirtschaftsakteur sein
- Private Personen, die zum Hersteller werden, sollen ebenfalls Beachtung finden.

Unter Einbeziehung der Befragungsergebnisse und der Workshopergebnisse wurden die Inhalte für die Informationsbroschüren zielgruppenspezifisch zusammengestellt. Die Sammlung der Szenarien und Problemfelder wird dabei auf die für die Praxis relevantesten Fälle reduziert und es wird ein ausreichend hohes Abstraktionsniveau für die Beschreibung der Szenarien getroffen.

7 Inhalte für Informationsschriften (AP 7)

Projektabschließend wurden Informationen zielgruppenspezifisch in drei Informationsschriften (Verwender von 3-D-Druckern, Marktüberwachung und Wirtschaftsakteure) zusammengestellt und aufbereitet.

Die zielgruppenspezifischen Informationen sind bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin unter den Titeln

- „3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für private Verwender“
- „3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für die Marktüberwachung“
- „3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für Hersteller, Bevollmächtigte, Einführer, Händler, Aussteller und andere geschäftsmäßige Nutzer“

erhältlich.

8 BAuA-Veranstaltung (AP 8)

Im Rahmen der am 12./13. März 2018 stattfindenden BAuA-Veranstaltung wurden in einem Plenumsvortrag vor Mitarbeitern der Marktüberwachung und daran anschließenden Workshops die gesammelten, zielgruppenspezifischen Informationen und Ergebnisse vorgestellt. Gleichzeitig wurden Hinweise der Zielgruppe Marktüberwachung gesammelt, um diese ggf. in die Informationsbroschüren einfließen zu lassen. Eine Live-Vorführung von 3-D-Druckern ergänzte die Veranstaltung.



Abb. 8.1 Workshop mit Mitarbeitern der Marktüberwachung am 12. März 2018 in Dortmund



Abb. 8.2 Live-Vorführung von 3-D-Druckern als Ergänzung zum Workshop am 12. März 2018 in Dortmund

Die Workshops wurden wie folgt durchgeführt:

- Input-Vortrag zu den Themen 3-D-Druck in der Praxis, rechtliche Probleme und Handlungshilfen für die Marktüberwachung
- Diskussion in zwei Workshopbereichen (Wechsel der Workshopbereiche nach 30 min)
 - Workshopbereich 1: 3-D-Druck in der Praxis und Handlungshilfen für die Marktüberwachung, Live-Vorführung 3-D-Druck
 - Workshopbereich 2: Rechtliche Probleme

Hinweise der Marktaufsichtsbehörden wurden in die Erstellung der Informationsbrochüren aufgenommen. Dies bezieht sich insbesondere auf:

- Rechtliche Probleme:
 - Produktsicherheitsrecht (ProdSG)
 - Produktsicherheitsverordnungen ProdSV
 - CE-Richtlinien, Maschinenrichtlinie und Abgrenzung zur Niederspannungsrichtlinie
 - Wann werden durch den 3-D-Druck „herstellende“ Verbraucher zu möglichen neuen Adressaten von Maßnahmen der Marktüberwachungsbehörden?
- Relevanz und Problemfelder 3-D-Druck für die Marktüberwachung:
 - Die Relevanz bezieht sich insbesondere auf die Überwachung der Produktsicherheit von 3-D-Druckern.
 - In diesem Zusammenhang ist ebenfalls das Szenario des Selbstbaus von 3-D-Druckern von Relevanz.

9 Zusammenfassung

Im vorliegenden Forschungsbericht wurden die Forschungsarbeiten im Vorhaben F 2389 „3-D-Druck – Werden Verwender zu Herstellern? Stand und Zukunft der additiven Fertigung und deren Auswirkungen auf Produktsicherheit und Arbeitsbedingungen“ zusammengestellt.

Die Anwendung von 3-D-Druckern für die Erstellung dreidimensionaler Produkte (additive Fertigung) hat sich in den letzten Jahren stark verbreitet und weiterentwickelt. 3-D-Drucker werden sowohl im gewerblichen als auch im privaten Bereich genutzt. Dabei kommen immer neue Materialien zum Einsatz, Produktarten und Einsatzszenarien verändern sich. Der sichere Einsatz der 3-D-Drucker und die Erzeugung sicherer Produkte müssen mit dieser Entwicklung einhergehen. Momentan gibt es allerdings für die Akteure im Zusammenhang mit dem 3-D-Druck keine ausreichenden Informationen, die sowohl wirtschaftliche, technische, rechtliche und Aspekte der Sicherheit berücksichtigen. Als Akteure werden in diesem Zusammenhang die privaten und professionellen Betreiber von 3-D-Druckern und damit Erzeuger von Produkten gesehen, aber auch solche, die Berührungspunkte zur Thematik haben, im speziellen die Marktüberwachungsbehörden.

Auf der Basis derzeitiger und ggf. abzusehender künftiger Technologien im Bereich der additiven Fertigung galt es, typische Verwender-Hersteller-Szenarien zu erfassen. Für diese Technologien und Szenarien erfolgte im Anschluss die Ermittlung rechtlicher Anforderungen aus unterschiedlichen Rechtskontexten, wie dem Produktsicherheitsrecht, dem Urheberrecht und dem Haftungsrecht. Aus diesen Erkenntnissen wurden Probleme und Lösungsansätze speziell für die Marktüberwachungsbehörden identifiziert. Gleichzeitig wurden Risiken von 3-D-Druckern hinsichtlich des Betriebes ermittelt und weiterer Forschungsbedarf an dieser Stelle aufgezeigt. Im Ergebnis der Untersuchungen stand die Zusammenstellung von Inhalten für Informationsschriften.

Zunächst wurden dazu die gängigsten Verfahren der additiven Fertigung erfasst und systematisch aufbereitet. Es wurde jeweils das verfahrensunabhängige Grundprinzip der additiven Fertigung vorgestellt und im Anschluss daran die verschiedenen Verfahren kategorisiert und näher erläutert. Die wichtigsten Informationen zu den Verfahren sind in Steckbriefen übersichtlich auf jeweils einer Seite zusammengefasst. Neben der Verfahrensbeschreibung enthalten die Steckbriefe Informationen zum Anwendungsbereich, zu Werkstoffen, zur Nachbearbeitung und zu Vor- und Nachteilen. Abbildungen verdeutlichen Aufbau und Elemente. Industrieanwendungen und zu erwartende Entwicklungen beim 3-D-Druck wurden dargestellt.

Der Einsatz dieser additiven Fertigungsverfahren kann sowohl im privaten als auch im gewerblichen Bereich zu neuen Szenarien mit Problemen führen, die einer rechtlichen Betrachtung bedürfen. Daher wurden in einem weiteren Schritt potenzielle Szenarien und Fragestellungen aus Sicht von Verwendern von 3-D-Druckern, aus Sicht der Hersteller von 3-D-Druckern und aus Sicht der Marktüberwachung aufgezeigt. Neue Risiken beim 3-D-Druck wurden beschrieben.

Zusätzlich wurden für die praxisnahe Erfragung aktuell verwendeter Technologien sowie die Erschließung weiterer Szenarien und Problemfelder und ggf. auch von Ri-

siken auf dem Gebiet der additiven Fertigung Interviewleitfäden für die Befragung von Experten erstellt. Die Leitfäden wurden für die beiden Zielgruppen Verwender von 3-D-Druckern/additiven Fertigungsverfahren und Verbände, Forschung und Wissenschaft aufbereitet.

Rechtliche Anforderungen im Zusammenhang mit der Anwendung von 3D-Druckern wurden anschließend zusammengetragen.

Zunächst wurde ein Überblick zu den sicherheitsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für die 3-D-Drucktechnologie gegeben. Es wurden die Anforderungen nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und den dazugehörigen Verordnungen des ProdSG bezogen auf das Bereitstellen von 3-D-Drucktechnologien auf dem Markt aufgeführt und zusammenfassend erläutert.

Es folgte ein Überblick zu den ordnungsrechtlichen Vorgaben und Voraussetzungen für die mittels 3-D-Druck hergestellten Produkte. Für die mittels 3-D-Drucktechnik hergestellten Produkte ergeben sich rechtlich keine Besonderheiten, sondern es gelten alle einschlägigen produktsicherheitsrechtlichen. Besondere Risiken bei der Verwendung ergeben sich allerdings aus dem Umstand, dass auch derjenige zum Hersteller werden kann, der lediglich einen 3-D-Drucker, eine Druckvorlage und Druckmaterial besitzt, selbst aber kein weitergehendes Know-how über den Druckprozess, die Qualität des gedruckten Produkts und die für das Produkt existierenden sicherheitsrechtlichen Gesetze, Normen, Regeln und Standards verfügt und insbesondere nicht mit dem konkreten Gefährdungspotenzial des gedruckten Produkts vertraut ist. Daher wurden Anforderungen nach dem Produktsicherheitsgesetz und den dazugehörigen Verordnungen für mittels 3-D-Drucktechnologie hergestellter Produkte aufgeführt und erläutert.

Anschließend folgte die Darstellung der produkthaftungsrechtlichen Anforderungen. Vertragliche und gesetzliche Haftungstatbestände wurden erläutert und ausgewählte typische rechtliche Risiken für Verbraucher, d. h. für Verwender von 3-D-Druckern aufgezeigt. Es erfolgte ein Auszug von Rechtsbereichen, die im engen Zusammenhang mit dem 3-D-Druck stehen.

Und schließlich wurden die aufgeführten Szenarien aufgegriffen und es wurde jeweils dargelegt, welche rechtlichen Anforderungen bestehen und inwiefern die Verwender von 3-D-Druckern zu Herstellern im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes werden können.

Bei der Betrachtung der verschiedenen additiven Fertigungsverfahren wurde deutlich, dass von den Verfahren in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Technologie verschiedene Gefahren ausgehen können. Die jeweiligen Gefährdungspotenziale wurden daher zunächst aufgeführt. Für die wichtigsten Verfahren wurden Risikobetrachtungen durchgeführt. Sie sollen dem Nutzer eine Übersicht über mögliche Gefährdungen und Risiken vermitteln und ihn für die Gefährdungsthematik sensibilisieren. Die Informationen zu Gefährdungen und Risiken wurden den Steckbriefen als Kurzinformation zugefügt.

Der vorliegende Forschungsbericht enthält neben den fachlich inhaltlichen Informationen Berichte über Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben. So wurden beispielsweise neben der Literaturanalyse und Expertenbefragungen in ei-

nem Workshop gemeinsam mit Verwendern bzw. der Marktüberwachung und weiteren Experten Informationserfordernisse für die jeweiligen Zielgruppen herausgearbeitet.

Projektabschließend wurden die Informationen zielgruppenspezifisch in drei Informationsschriften (Verwender von 3-D-Druckern, Marktüberwachung und Wirtschaftsakteure) zusammengestellt und aufbereitet:

- „3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für private Verwender“
- „3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für die Marktüberwachung“
- „3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für Hersteller, Bevollmächtigte, Einführer, Händler, Aussteller und andere geschäftsmäßige Nutzer“

Die Informationsbroschüren sind bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erhältlich.

Literaturverzeichnis

- acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Hrsg.) (2016): Additive Fertigung. München
- Berger, Uwe; Hartmann, Andreas; Schmid, Dietmar (2017): 3D-Druck - Additive Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing. 2. Auflage. Haain-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel
- DIN EN ISO/ASTM 52900:2017-06 (2017): Additive Fertigung - Grundlagen - Terminologie (ISO/ASTM 52900:2015); Deutsche Fassung EN ISO/ASTM 52900:2017. Berlin: Beuth Verlag
- Fastermann, Petra (2012): 3D-Druck/Rapid Prototyping. Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt. Berlin, Heidelberg: Springer (X.media.press)
- Fastermann, Petra (2016): 3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert. 2., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg
- Feldhusen, Jörg (Hrsg.); Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang (2013): Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg
- Gebhardt, Andreas (2014): 3D-Drucken. Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing. München: Hanser
- Gebhardt, Andreas (2016): Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser
- Gibson, Ian; Rosen, David; Stucker, Brent (2015): Additive manufacturing technologies. 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing. Second Edition. New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer
- Hagl, Richard (2015): Das 3D-Druck-Kompendium. Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler
- Klindt, Thomas (2015): ProdSG Produktsicherheitsgesetz Kommentar, 2.Aufl.2015, München, C. H. Beck Verlag
- Lachmayer, Roland (Hrsg.); Lippert, Rene Bastian (Hrsg.); Fahlbusch, Thomas (Hrsg.) (2016): 3D-Druck beleuchtet. Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg
- Manyika, James; Chui, Michael; Bughin, Jacques; Dobbs, Richard; Bisson, Peter; Marrs, Alex (2013): Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute
- Nohl, Jörg (1989): Verfahren zur Sicherheitsanalyse – eine prospektive Methode zur Analyse und Bewertung von Gefährdungen“. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag GmbH

VDI-Richtlinie 3405 2014-12 (2014): Additive Fertigungsverfahren - Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibung. Berlin: Beuth Verlag

Wohlers, Terry T. (2016): Wohlers Report 2016. Fort Collins, Colorado: Wohlers Associates

Abbildungsverzeichnis

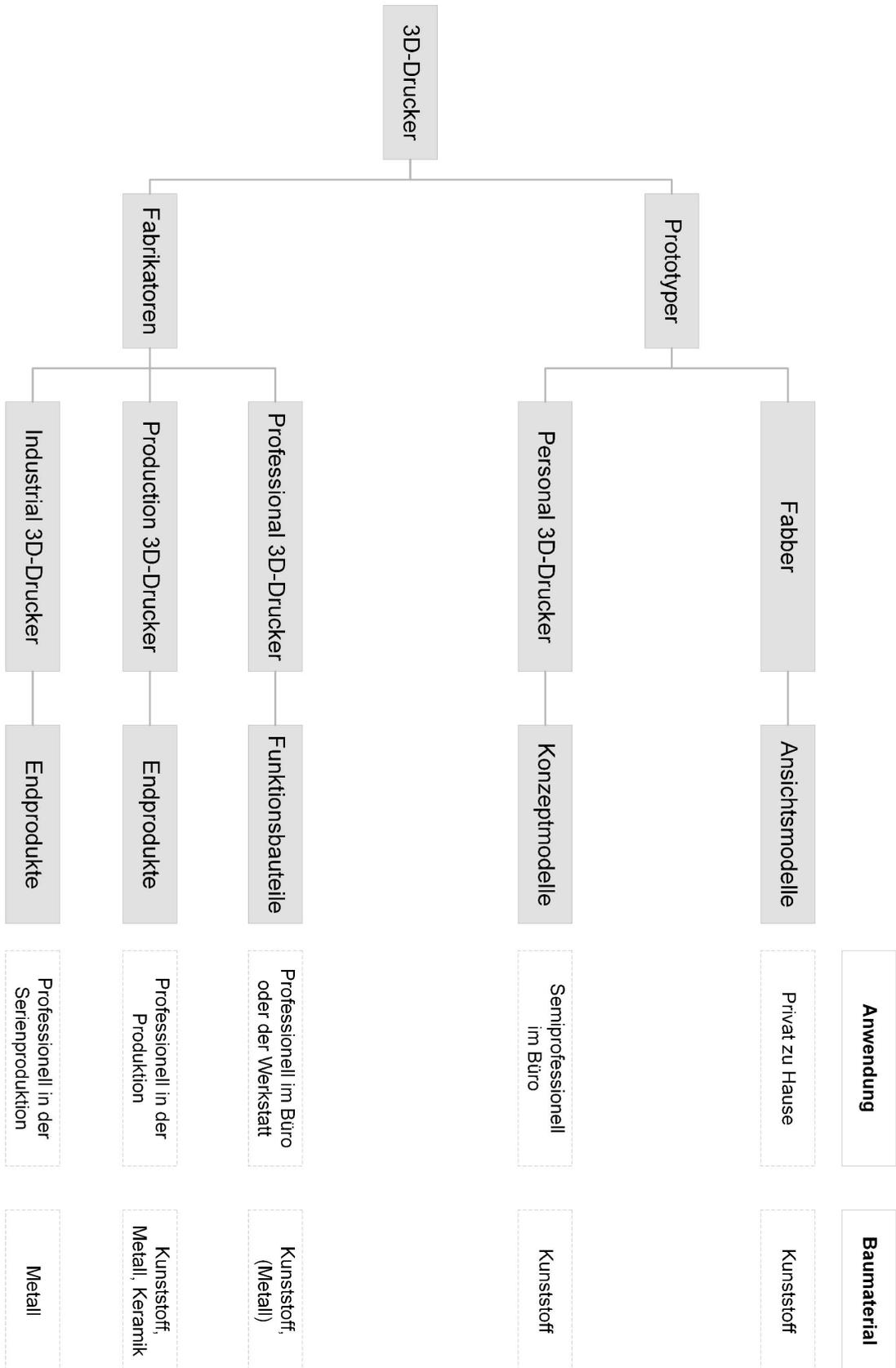
Abb. 2.1	Treppenstufeneffekt bei einer Schichtdicke von 0,2 mm	12
Abb. 2.2	Die vier Phasen der additiven Fertigung nach LACHMAYER et al. (2016)	13
Abb. 2.3	Weltweites Wachstum der Verkäufe von Fabbern und Personal 3-D-Druckern (vgl. WOHLERS, 2016)	15
Abb. 2.4	Mittels Stützstrukturen auf der Bauplattform verankertes Modell	17
Abb. 2.5	Aufbau und Elemente einer Stereolithografie-Anlage	19
Abb. 2.6	Aufbau und Elemente einer DLP-Anlage	21
Abb. 2.7	Aufbau und Elemente einer FLM-Anlage	24
Abb. 2.8	Aufbau und Elemente einer MJM-Anlage	26
Abb. 2.9	Aufbau und Elemente einer PJM-Anlage	27
Abb. 2.10	Aufbau und Elemente einer 3-D-Druckanlage	29
Abb. 2.11	Aufbau und Elemente einer Laser-Sinter-Anlage	32
Abb. 2.12	Aufbau und Elemente einer Laser-Strahlschmelzanlage	34
Abb. 2.13	Aufbau und Elemente einer Elektronenstrahlschmelzen-Anlage	36
Abb. 2.14	Aufbau und Elemente einer LLM-Anlage	38
Abb. 2.15	Aufbau und Elemente beim pulver- bzw. drahtbasierten Laserauftragsschweißen	40
Abb. 3.1	Potenzielle Szenarien für Verwender, die sich durch die verschiedenen Verknüpfungsmöglichkeiten der Merkmalsebenen ergeben	44
Abb. 5.1	Risikomatrix nach NOHL (1989)	81
Abb. 8.1	Workshop mit Mitarbeitern der Marktüberwachung am 12. März 2018 in Dortmund	86
Abb. 8.2	Live-Vorführung von 3-D-Druckern als Ergänzung zum Workshop am 12. März 2018 in Dortmund	86

Tabellenverzeichnis

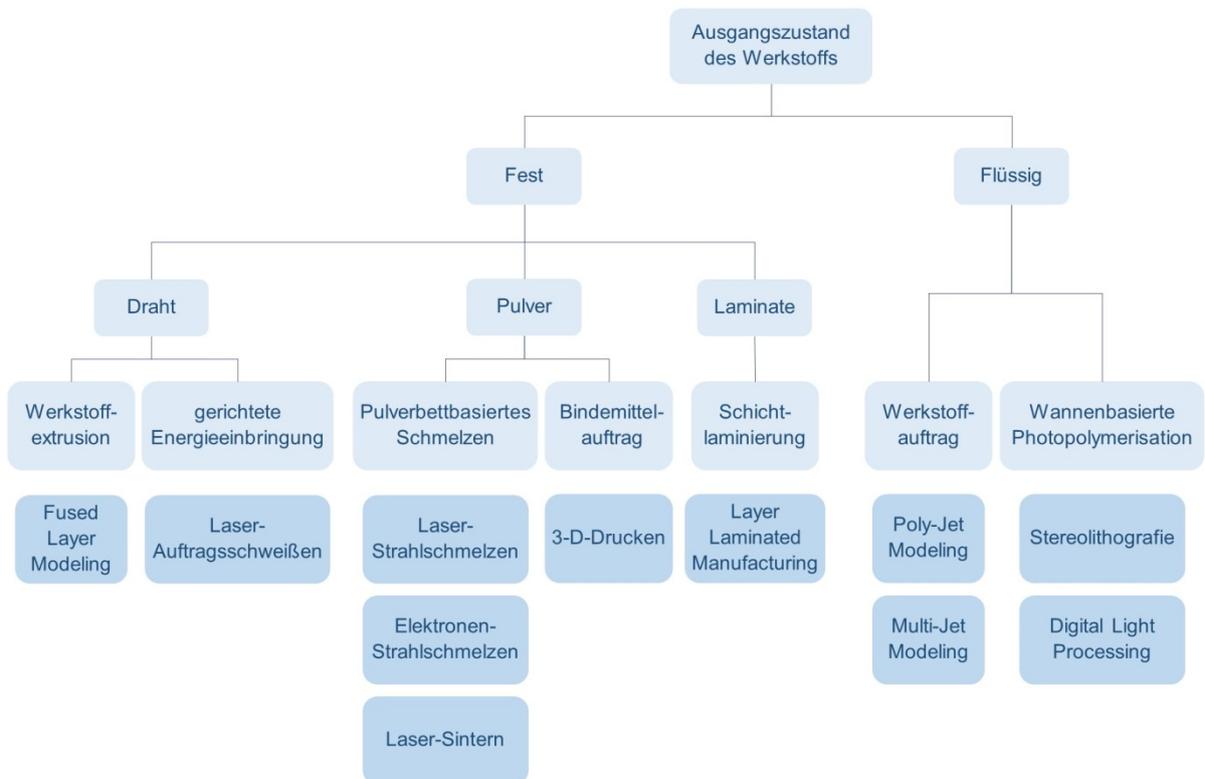
Tab. 2.1	Zuordnung der in verschiedenen Veröffentlichungen beschriebenen additiven Fertigungsverfahren	16
-----------------	---	----

Anhang

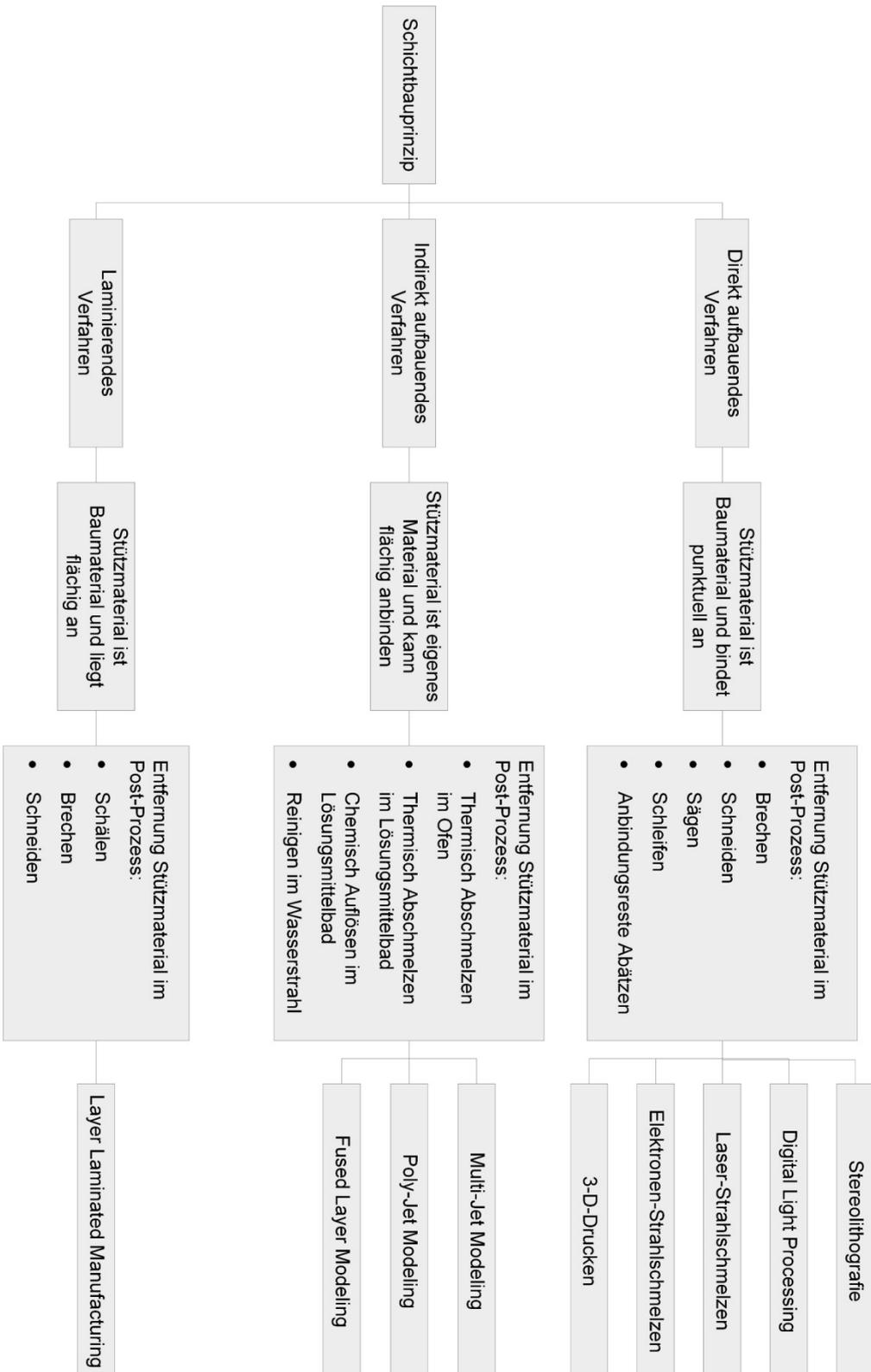
Anhang 1 Unterteilung der 3-D-Drucker nach Maschinentypen (nach GEBHARDT, 2016)



Anhang 2 Systematisierung der additiven Fertigungsverfahren nach Ausgangszustand des Werkstoffs



Anhang 3 Schichtbauprinzip der additiven Fertigungsverfahren sowie Anbindung und Entfernung der Stützkonstruktionen (nach BERGER et al., 2017)



Anhang 4 Steckbrief Stereolithografie

Stereolithografie (STL)	
<p>Das Diagramm zeigt den Aufbau einer Stereolithografie-Maschine. Ein UV-Laser durchläuft ein Linsensystem und wird durch einen Ablenkspiegel in einem Winkel auf ein Bauteil in einem Harzbehälter gelenkt. Eine Rakel für Harzauftrag bewegt sich über dem Bauteil, um die Schichtdicke des flüssigen Photopolymers zu kontrollieren. Die Bauplattform ist unterhalb des Bauteils positioniert, und die Stützstrukturen sind an den Stellen, an denen das Bauteil überhängt, zu sehen. Die Beschriftungen sind: Linsensystem, UV-Laser, Laserstrahl, Ablenkspiegel, Rakel für Harzauftrag, Bauplattform, Hubtisch, Bauteil, Stützstrukturen, Harzbehälter, Harzbad.</p>	<p>Synonyme: UV-Stereolithografie, Polymerdrucken, Laser-Stereolithografie</p> <p>Kategorie: Wannenbasierte Photopolymerisation</p> <p>Kurzbeschreibung: In einer Wanne befindliches, photosensitives Baumaterial wird schichtweise durch die punktuelle Belichtung mit einem UV-Laser ausgehärtet.</p> <p>Markteinführung: 1987</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Zu Beginn des Fertigungsprozesses befindet sich die Bauplattform genau eine Schichtdicke unterhalb der Oberfläche des flüssigen Photopolymers. • Der Laserstrahl zum Aushärten des Materials wird entlang der x-y-Achsen über ein Scanner-Spiegel-System bewegt. Entsprechend der Vorgaben aus der CAD-Datei wird der Bauteilquerschnitt mit dem Laserstrahl abgefahren und das flüssige Photopolymer dadurch augenblicklich ausgehärtet. • Anschließend wird die Bauplattform mit dem teilfertigen Bauteil um eine Schicht in das Harzbad abgesenkt und eine Rakel nivelliert das flüssige Baumaterial oberhalb des Bauteils auf die genau vorgegebene Schichtdicke. • Die nächste Materialschicht wird mittels Laserstrahl ausgehärtet und dadurch mit der darunterliegenden Schicht verbunden. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen, da beim Drucken in das flüssige Bad Überhänge andernfalls darin verloren gehen würden. Die Stützstrukturen werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil prozessintegriert generiert. Sie müssen im Anschluss an den Fertigungsvorgang entfernt werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • flüssiges Photopolymer (Anreicherung mit weiteren Materialien möglich) <ul style="list-style-type: none"> • Epoxidharz • Acrylharz • Vinylharz 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Reinigung mit Lösungsmitteln, z. B. Isopropanol oder Aceton, ist erforderlich. • Eine Nachvernetzung im UV-Ofen härtet das Photopolymer vollständig aus. • Die Stützstrukturen müssen mechanisch entfernt werden, z.B. mit einem Seitenschneider (abhängig von Bauteilkomplexität vor oder nach der Nachvernetzung). • Optional ist eine mechanische Nacharbeit, z. B. Sandstrahlen, für die Verbesserung der Oberflächenqualität, sowie eine Beschichtung des Bauteils möglich.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Modelle mit feinen Details und hoher Genauigkeit • Passform-Modelle und Funktions-Prototypen • Rapid Tooling • Rapid Manufacturing 	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>Designmodell einer Vase</p> <p>Design: chompworks auf www.thingiverse.com</p> </div> <div style="flex: 2;"> <ul style="list-style-type: none"> • Bio-Manufacturing <ul style="list-style-type: none"> • chirurgische Modelle • Ohreinpassselemente (für Hörgeräte) • Dentaltechnik • Modelle für die Schmuckindustrie • Urmodell für Nachfolgeprozess • Design- und Anschauungsmodelle </div> </div>

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • UV-Strahlung, Laserstrahlung • bewegte Maschinenteile • Hautkontakt mit Gefahrstoffen (z. B. Acrylharz) im Umgang mit Baumaterial, gefertigtem Bauteil, bei Reinigung des Druckers/Bauraums • Einatmen von Gefahrstoffen (Emissionen der Acrylharze beim Druckvorgang) • Umgang mit Lösungs- und Reinigungsmitteln • scharfe Kanten bei Entfernung der Stützstrukturen
<ul style="list-style-type: none"> • Desktop 3-D-Drucker • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 		

Anhang 5 Steckbrief Digital Light Processing

Digital Light Processing (DLP)	
	<p>Synonyme: UV-Flächenbelichtungsverfahren, Lampen-Masken-Verfahren</p> <p>Kategorie: Wannenbasierte Photopolymerisation</p> <p>Kurzbeschreibung: In einer Wanne befindliches photosensitives Baumaterial wird schichtweise durch flächige Belichtung entsprechend der vorgesehenen Bauteilkontur mit einem DLP-Projektor ausgehärtet.</p> <p>Markteinführung: 2002</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Zu Beginn des Fertigungsprozesses befindet sich im Harzbad zwischen Bauplattform und Glasboden genau eine Schichtdicke des flüssigen Photopolymers. • Das UV-Licht zum Aushärten des Photopolymers wird mittels DLP-Projektor entsprechend dem Bauteilquerschnitt auf die x-y-Ebene projiziert – eine Matrix mit ansteuerbaren Mikrospiegeln ermöglicht die flächige Projektion. • Anschließend wird die Bauplattform mit dem teilfertigen Bauteil um eine Schichtdicke aus dem Harzbad herausgefahren und zwischen Glasboden und teilfertigem Bauteil fließt genau eine Schicht des flüssigen Baumaterials nach. • Die nächste Materialschicht wird mittels DLP-Projektor ausgehärtet und dadurch mit der darüber liegenden Schicht verbunden. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen. Zum einen für eine Verankerung auf der Bauplattform und zum anderen um Überhänge zu ermöglichen. Die Stützstrukturen werden prozessintegriert aus dem gleichen Material wie das Bauteil generiert. Sie müssen im Anschluss an den Fertigungsvorgang entfernt werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • flüssiges Photopolymer <ul style="list-style-type: none"> • Epoxidharz • Acrylharz • Vinylharz 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Reinigung mit Lösungsmitteln, z. B. Isopropanol oder Aceton, ist erforderlich. • Eine Nachvernetzung im UV-Ofen härtet das Photopolymer vollständig aus. • Die Stützstrukturen müssen mechanisch entfernt werden, z. B. mit einem Seitenschneider (abhängig von Bauteilkomplexität vor oder nach der Nachvernetzung). • Optional ist Nacharbeit, z. B. Sandstrahlen oder Polieren, für die Verbesserung der Oberflächenqualität des Bauteils möglich.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Modelle mit feinen Details • Passform-Modelle • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • Urmodelle für Folgeprozesse • Rapid Manufacturing <ul style="list-style-type: none"> • Funktionsteile 	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> <p>Miniaturmodell</p> </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> • Bio-Manufacturing <ul style="list-style-type: none"> • chirurgische Modelle • Ohreinpassselemente (für Hörgeräte) • Dentaltechnik • Modelle für die Schmuckindustrie • Nachbildung archäologischer Funde • Design- und Anschauungsmodelle </div> </div>

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • UV-Strahlung • bewegte Maschinenteile • Hautkontakt mit Gefahrstoffen (z. B. Acrylharze) im Umgang mit Baumaterial, gefertigtem Bauteil, bei Reinigung des Druckers/Bauraums • Einatmen von Gefahrstoffen (Emissionen der Acrylharze beim Druckvorgang) • Umgang mit Lösungs- und Reinigungsmitteln • scharfe Kanten bei Entfernung der Stützstrukturen
<ul style="list-style-type: none"> • Fabber • Desktop 3-D-Drucker • Professional 3-D-Drucker 	<p style="font-size: small;">roland.creativetools.se</p>	

Anhang 6 Steckbrief Fused Layer Modeling

Fused Layer Modeling (FLM)	
	<p>Synonyme: Fused Deposition Modeling (FDM®), Fused Filament Fabrication, Schmelzschichtverfahren, Strangablageverfahren</p> <p>Kategorie: Werkstoffextrusion</p> <p>Kurzbeschreibung: Drahtförmiges Baumaterial wird durch Erhitzung aufgeschmolzen und mittels verfahrbarer Extrusionsdüse positionsgenau aufgetragen.</p> <p>Markteinführung: 1990</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Vorgefertigte, thermoplastische Filamente (Werkstoff in Drahtform) werden im Druckkopf aufgeschmolzen und durch eine Extrusionsdüse positionsgenau entsprechend der vorgesehenen Bauteilkontur auf die Bauplattform aufgebracht. • Eine fahrbare Extrusionsdüse (x- und y-Richtung) und absenkbare Plattform (z-Achse) oder eine fahrbare Plattform (x- und y-Richtung) und anhebbare Extrusionsdüse (z-Richtung) ermöglichen das Positionieren des Materials und das Aufbauen des Bauteils. • Das Material wird schichtweise, in vorgegebenen Schichtdicken, aufgetragen. Wärmeleitung in das teilfertige Bauteil verbindet die Schichten und lässt sie unmittelbar verfestigen. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt bei komplexen Formen und/oder Überhängen Stützstrukturen. Die Stützstrukturen werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil prozessintegriert generiert. Oder durch eine zweite Extrusionsdüse mit speziellem Supportmaterial aufgebracht. Die Stützstrukturen werden im Anschluss an den Fertigungsvorgang entfernt.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Filamente aus Kunststoff: <ul style="list-style-type: none"> • Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) • Poly-Lactic-Acid (PLA) (auch: Polymilchsäure) • Polycarbonat (PC) • Hochleistungskunststoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Prinzipiell ist keine Nachbearbeitung nötig. • Werden Stützstrukturen verwendet, müssen diese entfernt werden. Dies geschieht abhängig vom verwendeten Material mechanisch, z. B. mit einem Seitenschneider, oder wasserlöslich in einer Wascheinrichtung. • Je nach Einsatzzweck ist eine Reinigung des Bauteils erforderlich. • Bei Bedarf kann das Bauteil poliert, geschliffen sowie beschichtet werden.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte	
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Konzeptmodelle • Funktionsprototypen • Rapid Tooling • Rapid Manufacturing 	Funktionsprototyp	<ul style="list-style-type: none"> • Medizinindustrie (z. B. Prothesen) • Automobilindustrie (z. B. Montagehilfen) • Spielzeugfiguren, Miniaturmodelle • Ersatzteile • Modelle für Funktionstests

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • gesundheitsschädliche Dämpfe • heiße Oberflächen (Extrusionsdüse, beheizte Druckplatte) • bewegte Maschinenteile, Quetschstellen • scharfe Kanten bei Entfernung Stützstrukturen • Brandgefahr durch erdölbasierte Kunststoffstoffe • Brandgefahr durch Softwarefehler • Gefahr durch Kurzschluss/Kabelbrand
<ul style="list-style-type: none"> • Fabber • Desktop 3-D-Drucker • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker 		

Anhang 7 Steckbrief Multi-Jet Modeling

Multi-Jet Modeling	
	<p>Synonyme: Thermojet Modeling, Thermojet Printer, Inkjet Printing</p> <p>Kategorie: Werkstoffauftrag</p> <p>Kurzbeschreibung: Das Baumaterial wird thermisch verflüssigt und in Tropfenform schichtweise durch den Druckkopf positionsgenau aufgetragen. Durch Abkühlung verfestigt sich das Material und geht mit vorhergehenden Schichten eine Verbindung ein.</p> <p>Markteinführung: 2014</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> Das Baumaterial wird in einem beheizten Materialbehälter aufgeschmolzen und durch die Druckdüsen in Tropfenform positionsgenau auf das schichtweise entstehende Bauteil aufgebracht. Die Druckbreite des Druckkopfes entspricht der Baufeldbreite und wird über nebeneinander angeordneten und parallel arbeitenden Druckdüsen realisiert. Im unmittelbaren Nachgang an den Tropfenauftrag wird durch eine Walze die neu entstandene Schicht nivelliert und überflüssige Partikel werden abgetragen. Wärmeleitung in das teilfertige Bauteil verbindet die Schichten und lässt sie verfestigen. Der Druckkopf wird entlang der z-Achse angehoben und eine neue Materialschicht wird aufgetragen. Die Bauplattform bewegt sich üblicherweise in horizontaler Richtung (x-Richtung) und der Druckkopf in vertikaler Richtung (z-Achse). <p>Anmerkung: Das auf diese Weise auf der Bauplattform entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen. Die Stützstrukturen werden aus leicht löslichem Material (z. B. Wachs) prozessintegriert durch separate Druckdüsen generiert. Die Stützstrukturen müssen im Anschluss an den Fertigungsverfahren entfernt werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> Kunststoff: <ul style="list-style-type: none"> Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) Polycarbonat (PC) Wachs 	<ul style="list-style-type: none"> Eine Reinigung mit Lösungsmitteln, z. B. Isopropanol oder Aceton, ist erforderlich. Die Stützstrukturen müssen entfernt werden. Dies geschieht entweder manuell mit Hilfe eines Werkzeugs oder wasserlöslich in einem Bad mit verdünnter Natronlauge. Optional ist eine mechanische Nacharbeit, z. B. Sandstrahlen, für die Verbesserung der Oberflächenqualität, sowie eine Oberflächenbehandlung des Bauteils möglich.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> Modelle mit feinen Details und hoher Genauigkeit Passform-Modelle und Funktions-Prototypen Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> Präzise Formwerkzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> Muster für Werkzeugbau Urmodell für Vakuumguss Medizintechnikprodukte Leichtbauteile für die Luft- und Raumfahrt Endprodukte

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen		
<ul style="list-style-type: none"> Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker 		<ul style="list-style-type: none"> bewegte Maschinenteile Hautkontakt mit Gefahrstoffen bei Reinigung des Bauteils und des Druckers/Bauraums Einatmen von Gefahrstoffen (Emissionen der Materialien beim Druckvorgang) Umgang mit Lösungs- und Reinigungsmitteln

Anhang 8 Steckbrief Poly-Jet Modeling

Poly-Jet Modeling	
	<p>Synonyme: Harz-Druck, Polymerdrucken, Polymer-Jetten</p> <p>Kategorie: Werkstoffauftrag</p> <p>Kurzbeschreibung: Flüssige UV-empfindliche Acrylharze werden in Tropfenform schichtweise und positionsgenau durch einen Druckkopf aufgetragen und unmittelbar durch eine am Druckkopf befindliche UV-Lampe ausgehärtet (polymerisiert).</p> <p>Markteinführung: 2000</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Das flüssige und photosensitive Baumaterial wird aus Materialkartuschen im Druckkopf den Druckdüsen zugeführt und in Tropfenform positionsgenau auf das schichtweise entstehende Bauteil aufgebracht. • Am Druckkopf befinden sich neben den Druckdüsen UV-Lampen, die die frisch aufgetragene Materialschicht unmittelbar aushärten (polymerisieren). • Im Nachgang an die Polymerisation wird die neu entstandene Schicht mittels eines Rakels nivelliert. • Die Bauplattform bewegt sich üblicherweise in horizontaler Richtung (y-Richtung) und der Druckkopf in vertikaler Richtung (z-Achse). Der Druckkopf besitzt ggf. mehrere parallel arbeitenden Druckdüsen, was das Drucken unterschiedlicher Materialien in einem Prozess ermöglicht. • Der Druckkopf wird entlang der z-Achse angehoben und eine neue Materialschicht wird aufgetragen. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise auf der Bauplattform entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen. Die Stützstrukturen werden aus leicht lösbarem Material (z. B. Wachs) prozessintegriert durch separate Druckdüsen generiert. Die Stützstrukturen müssen im Anschluss an den Fertigungsvorgang entfernt werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Kunststoffe: <ul style="list-style-type: none"> • Photopolymere • Epoxidharz • Acrylharz • Vinylharz 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Stützstrukturen werden entfernt, entweder manuell mit Werkzeug oder wasserlöslich in einem Bad mit verdünnter Natronlauge. Anschließend wird das Bauteil abgespült. • Eine Reinigung mit Lösungsmitteln, z. B. Isopropanol oder Aceton, ist erforderlich. • Eine Nachvernetzung im UV-Ofen härtet das Photopolymer vollständig aus. • Optional ist eine mechanische Nacharbeit, z. B. Sandstrahlen, für die Verbesserung der Oberflächenqualität, sowie eine Beschichtung des Bauteils möglich.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Modelle mit feinen Details und hoher Genauigkeit • Passform-Modelle und Funktions-Prototypen • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • präzise Formwerkzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> • detailreiche Prototypen bestehend aus mehreren Materialien • komplexe Formen mit aufwändigen Details • Schablonen • Design-Prototypen

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Professional 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • UV-Strahlung • bewegte Maschinenteile • Hautkontakt mit Gefahrstoffen (z. B. Acrylharze) im Umgang mit Baumaterial, gefertigtem Bauteil, bei Reinigung des Druckers/Bauraums • Einatmen von Gefahrstoffen (Emissionen der Acrylharze beim Druckvorgang) • Umgang mit Lösungs- und Reinigungsmitteln
<ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker 	<p>© Vigh Előd</p>	

Anhang 9 Steckbrief 3-D-Drucken

3-D-Drucken	
	<p>Synonyme: Binder Jetting, 3D-Printing (3DP), Binder-Druck</p> <p>Kategorie: Bindemittelauftrag</p> <p>Kurzbeschreibung: Im Bauraum befindliches pulverförmiges Baumaterial wird schichtweise durch das punktuelle Hinzufügen von flüssigem Binder verklebt.</p> <p>Markteinführung: 1993</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrenen Bauplattform befindet sich eine erste Schicht des pulverförmigen Baumaterials. • Mittels eines in x- und y-Richtung verfahrenen Druckkopfes wird entsprechend des vorgesehenen Bauteilquerschnitts Bindemittel in Tropfenform auf die Pulverschicht aufgetragen. Es sorgt dafür, dass die Pulverpartikel an den vorgesehenen Stellen miteinander verkleben. Verfügt der Druckkopf über mehrere Düsen, können verschiedenfarbige Binder verwendet und das Bauteil dadurch eingefärbt werden. • Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und eine neue Schicht Pulver wird mit einer Auftragswalze aus dem Pulvervorrat aufgetragen. • Auf die neue Pulverschicht wird ebenfalls selektiv Bindemittel aufgetragen und die Pulverpartikel der neuen Schicht verkleben an den vorgesehenen Stellen mit der darunterliegenden Schicht. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt keine Stützstrukturen, da das umliegende Pulver im Bauraum als Pulverbett eine stützende Funktion übernimmt. Das überschüssige Pulver kann z. T. wiederverwendet werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Gipspulver • Stärkepulver • Sandpulver • Kunststoffpulver • Keramikpulver • Metallpulver 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Bauteil wird aus dem Pulverbett entnommen und mittels Druckluft oder durch Abbürsten vorsichtig von überschüssigen Pulverpartikeln befreit. • Für eine bessere Stabilität und Oberflächengüte wird das Bauteil mit Harz oder Wachs infiltriert. • Werden keramische oder metallische Pulver verwendet, werden die hergestellten Objekte im Nachgang gesintert („gebacken“) wodurch eine höhere Bauteilfestigkeit erreicht wird.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Konzeptmodelle • Funktionsprototypen • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • Formen und Kerne für Gussanwendungen 	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Turbinenmodelle</p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> • Architektur- und Landschaftsmodelle • mehrfarbige Design- und Anschauungsmodelle • verlorene Form für nachfolgenden Gießvorgang • Lebensmittelindustrie (z. B. bei Verwendung von Zuckerpulver und essbarem Bindemittel) </div> </div>

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
<p>Maschinentypen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 	<p>Professional 3-D-Drucker</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Emission von Kleinstpartikeln bei Befüllung der Anlage, Entnahme des Bauteils, Reinigung des Bauteils, Reinigung der Anlage • Explosionsgefahr durch pulverförmiges Ausgangsmaterial • Hautkontakt mit Gefahrstoffen (z. B. Binder, Harze zur Infiltrierung) im Umgang mit Baumaterial, gefertigtem Bauteil, bei Reinigung des Druckers/Bauraums und in nachgelagerten Bearbeitungsschritten • Aufstellung des Druckers in ungeeigneter Umgebung (z. B. Architekturbüros) • inhalative/dermale Exposition gegenüber Kleinstpartikeln

Anhang 10 Steckbrief Laser-Sintern

Laser-Sintern	
	<p>Synonyme: Selektives Laser-Sintern, Kunststoff-Laser-Sintern</p> <p>Kategorie: Pulverbettbasiertes Schmelzen</p> <p>Kurzbeschreibung: Im Bauraum befindliche Pulverpartikel werden schichtweise durch einen Laserstrahl punktuell angeschmolzen und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden.</p> <p>Markteinführung: 1992</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrbaren Bauplattform befindet sich eine erste Schicht des pulverförmigen Baumaterials. • Mittels Laserstrahl, der über ein Scanner-Spiegel-System umgelenkt wird, werden die Pulverpartikel der Materialschicht entlang der x- und y-Achse entsprechend des vorgesehenen Bauteilquerschnitts an den vorgesehenen Stellen angeschmolzen (im Gegensatz zum Laser-Strahlschmelzen, wo die Partikel vollständig aufgeschmolzen werden) und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden. • Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und eine neue Schicht Pulver wird mit einer Auftragswalze aus dem Pulvervorrat aufgetragen. • Die neue Pulverschicht wird ebenfalls selektiv mittels Laserstrahl angeschmolzen und die Pulverpartikel der neuen Schicht verkleben an den vorgesehenen Stellen mit der darunterliegenden Schicht. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt keine Stützstrukturen, da das umliegende Pulver im Bauraum als Pulverbett eine stützende Funktion übernimmt. Der Druckprozess findet in unter Schutzgasatmosphäre in einer dicht verschlossenen und beheizten Kammer statt.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Kunststoffpulver • Keramikpulver • Metallpulver • Sandpulver • Glaspulver 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Bauteil wird, nachdem es abgekühlt ist, in einer separaten Entpackstation aus dem Pulverbett entnommen und von überschüssigen Pulverpartikeln befreit. • Für eine bessere Stabilität wird das Bauteil wärmebehandelt und ggf. mit Harz infiltriert. • Für eine bessere Oberflächengüte kann das Bauteil im Nachgang mechanisch nachbehandelt werden.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Konzeptmodelle • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • Urmodelle • Rapid Manufacturing <ul style="list-style-type: none"> • Serienfertigung von Leichtbauteilen 	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: small;">Architekturmodell</p> <p style="font-size: x-small;">Foto mit freundlicher Genehmigung zur Verfügung gestellt von www.4dconcepts.de</p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> • Muster für Werkzeugbau • Urmodell für Vakuumguss • Medizintechnikprodukte • Leichtbauteile für die Luft- und Raumfahrt • Endprodukte • Designstudien </div> </div>

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Production 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • Emission von Kleinstpartikeln bei Befüllung der Anlage, Entnahme des Bauteils, Reinigung des Bauteils, Reinigung der Anlage • Verpuffungs- und Explosionsgefahr durch pulverförmiges Ausgangsmaterial • Handhabung und Lagerung der pulverförmigen Werkstoffe • Laserstrahlung • Umgang mit Gefahrstoffen (z. B. Harze zur Infiltrierung)
<ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 		

Anhang 11 Steckbrief Laser-Strahlschmelzen

Laser-Strahlschmelzen	
	<p>Synonyme: Selektive Laser Melting®, Direct Metal Laser Sintering®, LaserCUSING®</p> <p>Kategorie: Pulverbettbasiertes Schmelzen</p> <p>Kurzbeschreibung: Im Bauraum befindliche Pulverpartikel werden schichtweise durch einen Laserstrahl punktuell aufgeschmolzen und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden.</p> <p>Markteinführung: 1999</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrbaren Bauplattform befindet sich eine erste Schicht des pulverförmigen Baumaterials. • Mittels Laserstrahl, der über ein Scanner-Spiegel-System umgelenkt wird, werden die Pulverpartikel der Materialschicht entlang der x- und y-Achse entsprechend des vorgesehenen Bauteilquerschnitts an den vorgesehenen Stellen aufgeschmolzen (im Gegensatz zum Laser-Sintern, wo die Partikel nicht vollständig aufgeschmolzen werden) und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden. • Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und eine neue Schicht Pulver wird mit einem Wischer oder einer Auftragswalze aus dem Pulvervorrat aufgetragen. • Die neue Pulverschicht wird ebenfalls selektiv mittels Laserstrahl aufgeschmolzen und die Pulverpartikel der neuen Schicht verkleben an den vorgesehenen Stellen mit der darunterliegenden Schicht. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen zur Verankerung auf der Bauplattform, da diese zum einen für eine gleichmäßige Wärmeabfuhr sorgen und zum anderen das Verschieben des Bauteils durch auftretende Scherkräfte bei der Pulverschichtauftragung verhindern. Der Druckprozess findet unter Schutzgasatmosphäre in einer dicht verschlossenen und beheizten Kammer statt.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Metallpulver <ul style="list-style-type: none"> • Titan • Aluminium • Metalllegierungen (z. B. Edelstahl) • Kunststoffpulver 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Bauteil wird, nachdem es abgekühlt ist, in einer separaten Entpackstation aus dem Pulverbett entnommen und von überschüssigen Pulverpartikeln befreit. • Für eine bessere Oberflächengüte kann das Bauteil im Nachgang mechanisch nachbehandelt werden.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Konzeptmodelle • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • Urmodelle • Rapid Manufacturing <ul style="list-style-type: none"> • Kleinserienfertigung von Leichtbauteilen 	<p>Implantat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leichtbauteile für Luft- und Raumfahrt • Implantate der Medizintechnik • Urmodell für Vakuumguss • Schmuck • technische Bauteile

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
<p>Maschinentypen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 	<p>Industrial 3-D-Drucker</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Emission von Kleinstpartikeln bei Befüllung der Anlage, Entnahme des Bauteils, Reinigung des Bauteils, Reinigung der Anlage • Verpuffungs- und Explosionsgefahr durch pulverförmiges Ausgangsmaterial • Handhabung und Lagerung der pulverförmigen Werkstoffe • Laserstrahlung • inhalative/dermale Exposition gegenüber Kleinstpartikeln

Anhang 12 Steckbrief Elektronenstrahlschmelzen

Elektronenstrahlschmelzen	
	<p>Synonyme: Electron Beam Melting®, Selektives Elektronenstrahlschmelzen</p> <p>Kategorie: Pulverbettbasiertes Schmelzen</p> <p>Kurzbeschreibung: Im Bauraum befindliche Pulverpartikel werden schichtweise durch einen Elektronenstrahl punktuell aufgeschmolzen und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden.</p> <p>Markteinführung: 2004</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrenbaren Bauplattform befindet sich eine erste Schicht des pulverförmigen Baumaterials. • Mittels Elektronenstrahl, der aus einer Elektronenquelle über eine Fokussier- und Ablenkeinheit auf die Pulverschicht geführt wird, werden die Pulverpartikel der Materialschicht entlang der x- und y-Achse entsprechend des vorgesehenen Bauteilquerschnitts an den vorgesehenen Stellen aufgeschmolzen und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden. • Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und eine neue Schicht Pulver wird mit einer Auftragswalze aus dem Pulvertank aufgetragen. • Die neue Pulverschicht wird ebenfalls selektiv mittels Elektronenstrahl aufgeschmolzen und die Pulverpartikel der neuen Schicht verkleben an den vorgesehenen Stellen mit der darunterliegenden Schicht. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen zur Verankerung auf der Bauplattform, da diese zum einen für eine gleichmäßige Wärmeabfuhr sorgen und zum anderen das Verschieben des Bauteils durch auftretende Scherkräfte bei der Pulverschichtauftragung verhindern. Der Druckprozess findet unter Schutzgasatmosphäre in einer dicht verschlossenen und beheizten Kammer statt.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Metallpulver • Werkzeugstahl • Edelstahl • Titanlegierungen • Kobaltlegierungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Bauteil wird, nachdem es abgekühlt ist, in einer separaten Entpackstation aus dem Pulverbett entnommen und von überschüssigen Pulverpartikeln befreit. • Für die Verbesserung der Oberflächenqualität werden Folgeprozesse wie Mikrostrahlen, Laserstrahlabtragen und Laserstrahlumschmelzen eingesetzt.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Passmodelle • Modelle für Funktionstests • Rapid Manufacturing <ul style="list-style-type: none"> • Serienfertigung von Leichtbauteilen 	<ul style="list-style-type: none"> • Leichtbauteile für Luft- und Raumfahrt • Leichtbauteile für Automobilindustrie • Medizinimplantate • Endprodukte mit Werkstoffeigenschaften wie bei konventioneller Verarbeitung

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen		<ul style="list-style-type: none"> • Emission von Kleinstpartikeln bei Befüllung der Anlage, Entnahme des Bauteils, Reinigung des Bauteils, Reinigung der Anlage • Verpuffungs- und Explosionsgefahr durch pulverförmiges Ausgangsmaterial • Handhabung und Lagerung der pulverförmigen Werkstoffe • elektromagnetisches Feld • inhalative/dermale Exposition gegenüber Kleinstpartikeln
<ul style="list-style-type: none"> • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 		

Anhang 13 Steckbrief Layer Laminated Manufacturing

Layer Laminated Manufacturing (LLM)	
	<p>Synonyme: Laminated Object Modeling (LOM®), Folienlaminier-3D-Druck, Schicht-Laminat-Verfahren</p> <p>Kategorie: Schichtlaminierung</p> <p>Kurzbeschreibung: Das Bauteil wird schichtweise aus vorgefertigten Folien aufgebaut. Die einzelnen Schichten werden entsprechend der vorgesehenen Bauteilkontur mittels Laser oder Messer ausgeschnitten.</p> <p>Markteinführung: 1991</p>

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrenen Bauplattform befindet sich eine erste Schicht der vorgefertigten Folie. • Mittels eines in x- und y-Richtung verfahrenen Laserstrahls, heißem Draht oder Messer wird entsprechend der vorgesehenen Bauteilkontur die Folie ausgeschnitten. • Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Folienstärke abgesenkt und eine neue Folie wird mit einer beheizten Walze aufgetragen. • Die einzelnen Folien sind entweder entsprechend der Maße des Bauraums zugeschnitten oder sie werden von einer Rolle zugeführt. Sollte letzteres der Fall sein, so wird überflüssiges, zusammenhängendes Material auf einer weiteren Rolle aufgewickelt. • Sind die Folien eingefärbt, so können farbige Objekte erzeugt werden. <p>Anmerkung: Das auf diese Weise im Bauraum entstehende Bauteil benötigt keine Stützstrukturen, da das umliegende überflüssige Folienmaterial eine stützende Funktion übernehmen kann. Innenliegende Hohlräume oder Hinterschnidungen lassen sich nur schwer realisieren, da das überschüssige Material nicht zerstörungsfrei herausgelöst werden kann.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Papierlaminat • Kunststofflaminat • Metalllaminat • Keramiklaminat 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Bauteil muss aus dem entstandenen Folienblock herausgebrochen werden. • Für eine bessere Stabilität und Oberflächengüte kann das Bauteil, je nach verwendetem Material, mit Harz oder Wachs infiltriert werden. • In Abhängigkeit von dem verwendeten Folienmaterial wird das Bauteil im Nachgang gesintert („gebacken“) wodurch eine höhere Bauteilfestigkeit erreicht wird.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte	
<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping <ul style="list-style-type: none"> • Form- und Passmodelle • Konzeptmodelle • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • Formen für Folgeprozesse 	<p>Prototyp</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Architektur- und Landschaftsmodelle • Designmodelle • (farbige) Anschauungsmodelle • (farbige) Prototypen • Skulpturen
	<p>© Cubic Technologies</p>	

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Professional 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • Laserstrahlung / scharfe Kanten (Messer) / heißer Draht • Rauch- bzw. Flammenbildung bei schneiden der Schichten mit Laserstrahl oder heißem Draht • scharfe Kanten der Laminat • Papierstäube, beim Schneiden des Materials • scharfe Kanten, Verletzungsgefahr beim Herausbrechen des überflüssigen Materials
<ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 	<p>© Cubic Technologies</p>	

Anhang 14 Steckbrief Laserauftragsschweißen

Laserauftragsschweißen	
<p>DMD-Verfahren</p>	<p>WAAM-Verfahren</p>
<p>Synonyme: Direct Metal Deposition (DMD®), Laser Metal Forming, Laser Engineered Net Shape, Wire + Arc Additive Manufacturing (WAAM)</p> <p>Kategorie: Gerichtete Energieeinbringung</p> <p>Kurzbeschreibung: Metalldraht (oder Metallpulver) wird über Düsen mithilfe eines Inertgasstroms direkt in ein lokales Schmelzbad eingebracht.</p> <p>Markteinführung: 1997</p>	

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> Über eine Düse wird das Ausgangsmaterial mithilfe eines Inertgasstroms in ein lokales Schmelzbad eingebracht, welches durch einen Laserstrahl erzeugt wird. Das geschmolzene Material wird direkt auf eine bereits existierende Baufäche des entstehenden Objekts aufgebracht und härtet dort durch Auskühlen aus. Die Düse ist in alle Richtungen verfahrbar und nicht an bestimmte Achsen gebunden, dies ermöglicht die Materialauftragung aus verschiedenen Winkeln. <p>Anmerkung: Sind mehrere Düsen verfügbar, können gleichzeitig verschiedene Materialien verarbeitet werden. Hybride Systeme arbeiten in Kombination mit CNC-Fräsen.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> schweißgeeignete Metalle und Metalllegierungen (z. B. Werkzeug- und Edelstahl) Keramik Kunststoffe 	<ul style="list-style-type: none"> Für eine bessere Oberflächengüte kann das Bauteil im Nachgang mechanisch nachbehandelt werden.

Anwendungsbereiche	Beispielprodukte
<ul style="list-style-type: none"> Rapid Tooling Rapid Manufacturing Rapid Repair 	<p>Ergänzung an vorhandenem Bauteil</p> <ul style="list-style-type: none"> Reparaturen oder Ergänzungen an vorhandenen Bauteilen oder Werkzeugen, z. B. in der Luft- und Raumfahrt Bauteile mit hoher Geometriefreiheit technische Bauteile <p><small>© TRUMPF GmbH + Co. KG</small></p>

Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Industrial 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> Laserstrahlung Emission von Kleinstpartikeln bei Befüllung der Anlage, Entnahme des Bauteils, Reinigung des Bauteils, Reinigung der Anlage Verpuffungs- und Explosionsgefahr durch pulverförmiges Ausgangsmaterial Umgang mit Gefahrstoffen (z. B. bei Nickel als Ausgangsmaterial) Schweißrauch
<ul style="list-style-type: none"> Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker Industrial 3-D-Drucker 	<p><small>© TRUMPF GmbH + Co. KG</small></p>	

Anhang 15 Interviewleitfaden für die Befragung von gewerblichen Nutzern additiver Fertigungsverfahren

Phase	Interviewer
Begrüßung	Guten Tag. Danke, dass Sie sich die Zeit nehmen, uns bei unserer Untersuchung zu unterstützen.
Einholen Einverständnis für Aufzeichnung	Wir möchten gerne das Interview aufzeichnen. Die Aufzeichnung wird nur zu Forschungszwecken und anonymisiert ausgewertet. Die Aufzeichnung wird nicht an Dritte weitergegeben und nicht veröffentlicht. Sind Sie damit einverstanden?
Darlegung der generellen Zielsetzung	<p>Ich möchte Sie zunächst kurz über die Hintergründe dieser Befragung informieren: Im Rahmen eines Forschungsprojektes beschäftigen wir uns mit den verschiedenen Verfahren der additiven Fertigung und mit möglichen Problemstellungen und Szenarien, die im Zusammenhang mit additiver Fertigung entstehen können. Im Vordergrund stehen Szenarien die sich z. B. hinsichtlich der Herstellerhaftung ergeben könnten, Fragen der Produktsicherheit sowie Fragen des Arbeitsschutzes. Die gewonnenen Informationen werden u.a. aus rechtlicher Sicht betrachtet und für Informationsbroschüren aufbereitet. Diese sollen Akteure, die im Zusammenhang mit additiver Fertigung stehen, auf potenzielle Risiken und Problemstellungen hinweisen und ihnen erste Lösungsansätze liefern.</p> <p>Zielsetzung dieser Befragung ist es, die in der unternehmerischen Praxis verwendeten additiven Fertigungsverfahren zu identifizieren, Entwicklungstendenzen abzufragen und potenzielle Problemstellungen aufzudecken.</p>
Information über Ablauf	Hierzu würde ich Ihnen gerne ein paar Fragen stellen. Sie dürfen auf die Fragen gerne spontan und ausführlich antworten.
Tätigkeit, Erfahrungshintergrund	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bitte beschreiben Sie kurz Ihre Rolle bzw. Funktion im Zusammenhang mit additiver Fertigung. 2. Seit wann werden in Ihrer Einrichtung additive Fertigungsverfahren eingesetzt/untersucht? 3. Seit wann arbeiten Sie (Befragter) mit additiven Fertigungsverfahren? 4. <i>(Sofern zutreffend)</i> Welche additiven Fertigungsverfahren werden in Ihrer Einrichtung genutzt und welche Materialien verwenden Sie? 5. <i>(Sofern zutreffend)</i> Für welche Zwecke wird bei Ihnen additiv gefertigt? <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Prototypenbau/Prototyping <input type="checkbox"/> Werkzeugbau/Tooling <input type="checkbox"/> Formenbau/Modeling <input type="checkbox"/> Endprodukte/Final Parts <input type="checkbox"/> Andere _____

	<p>6. <i>(Sofern zutreffend)</i> Wie hoch schätzen Sie den prozentualen Anteil an Werkzeugen und/oder Endprodukten, die bei Ihnen additiv gefertigt werden, ein?</p> <p>7. Gibt es eine Schwerpunktbranche für die Sie additiv fertigen/forschen (z. B. Maschinenbau, Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt)?</p>
Allg. Einschätzung	<p>Nun möchte ich Sie kurz um Ihre allgemeine Einschätzung hinsichtlich der additiven Fertigung befragen.</p> <p>8. Welche der u. g. additiven Fertigungsverfahren sind aus Ihrer Sicht im industriellen Kontext die verbreitetsten? <i>(Auswahl durch Befragten)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Stereolithografie <input type="checkbox"/> Digital Light Processing <input type="checkbox"/> Laser-Sintern <input type="checkbox"/> Laser-Strahlschmelzen <input type="checkbox"/> Elektronen-Strahlschmelzen <input type="checkbox"/> Fused Layer Modeling/Manufacturing <input type="checkbox"/> Multi-Jet Modeling <input type="checkbox"/> Poly-Jet Modeling <input type="checkbox"/> 3-D-Drucken <input type="checkbox"/> Layer Laminated Manufacturing <input type="checkbox"/> Thermotransfer-Sintern <input type="checkbox"/> Andere _____ <p>9. Wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung der additiven Fertigung ein?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorrangig werden die existierenden Verfahren weiterentwickelt • Es werden stetig neue Verfahren hinzukommen • Die additive Fertigung wird zukünftig, mit der Weiterentwicklung der verwendbaren Materialien, die traditionellen Fertigungsverfahren weitestgehend ersetzen.
Problemstellungen	<p>Jetzt möchte ich Ihnen zu einigen Problemstellungen die im Zusammenhang mit der additiven Fertigung stehen einige Fragen stellen.</p> <p>10. <i>(Sofern zutreffend)</i> Werden die CAD-Daten für die additive Fertigung bei Ihnen, im Vergleich zu anderen Daten, besonders geschützt? Werden die CAD-Daten bei Ihnen im Unternehmen im Vergleich zu anderen Daten besonders geschützt?</p> <p>11. Würden Sie der Aussage zustimmen, dass, wenn die CAD-Datei für ein additiv zu fertigendes Teil in die falschen Hände gerät, der Nachbau des Teils ein leichtes ist? <i>(Bitte begründen Sie Ihre Antwort)</i></p> <p>12. Wie ist Ihre Einschätzung hinsichtlich der Verbreitung von Produktfälschungen durch additive Fertigung und deren Qualität? Denken Sie, dass Produkte schneller und besser kopiert werden können?</p>

	<p>13. Sehen Sie die Qualitätssicherung von additiv gefertigten Einzelteilen als problematisch an? (z. B. zerstörende Bauteilprüfung)</p> <p>13..1 Würden Sie der Aussage zustimmen, dass es weiterer Standards bedarf, an denen sich Hersteller und Prüfgesellschaften orientieren können?</p> <p>14. Die Bereitstellung bzw. öffentliche Zugänglichmachung der additiven Fertigungsanlagen setzt einen sicheren Betrieb voraus, sehen Sie hier Schwierigkeiten oder Risiken?</p> <p>14..1 Sehen Sie neue Risiken für die Arbeitsbedingungen durch additive Fertigungsverfahren gegenüber anderen Fertigungsverfahren? Z. B durch verwendete Materialien und/oder das Verfahren (z. B. Laserstrahlung).</p> <p>15. Gibt es aus Sicht weitere Problemstellungen die einer rechtlichen Betrachtung bedürfen?</p>
Persönliche Einschätzung 3-D-Druck	<p>Nachfolgend möchte ich gerne noch Ihre persönliche Einschätzung zum Thema 3-D-Druck erfragen.</p> <p>16. Sind Sie im privaten Bereich (Bekanntenkreis etc.) bereits in Kontakt mit 3-D-Druckern gekommen?</p> <p>17. Wie schätzen Sie die Verbreitung sogenannter Fabber (3-D-Drucker im eigentlichen Sinne) ein? Sehen Sie diese eher speziell in der Maker-Szene oder in naher Zukunft auch allgemein in Privathaushalten?</p>
Demographische Daten (Angaben freiwillig)	<p>18. Wie viele Mitarbeiter hat Ihre Einrichtung/Abteilung (im Zusammenhang mit additiver Fertigung)? (ca.-Angabe ausreichend)</p> <p>19. Wie viel Jahre Berufserfahrung haben Sie? _____ Jahre</p> <p>20. Wie alt sind Sie? <input type="checkbox"/> 20-39 <input type="checkbox"/> 40-59 <input type="checkbox"/> 60+</p>
Fragen	<p>21. Gibt es noch nicht thematisierte Aspekte, die Sie für wichtig erachten?</p>
Dank	<p>Vielen Dank für das Gespräch!</p> <p>Dürfen wir Sie kontaktieren, falls wir nachträglich noch Fragen zum Interview haben?</p>

Anhang 16 Risikobeurteilung Wannenbasierte Polymerisation

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, kontrollierte bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen der Bauplattform und dem Harztank	Äußerst gering Da das Gehäuse dies verhindert, und die Bauplattform selten ohne Gehäuse verfahren wird.	Bagatellfolgen Durch die geringen Geschwindigkeiten und das geringe Gewicht der Bauplattform kann es zu Hämatomen kommen	0 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Spitzen, Schneiden	Entfernung des gedruckten Produkts mit einer Spachtel.	Äußerst gering Das Abrutschen der Spachtel mit der Klinge in Richtung des Körpers des Benutzers ist sehr unwahrscheinlich	Bagatellfolgen Es kann zu kleineren Schnittverletzungen kommen	0 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Beim Reinigen des Druckers wird leicht entflammbarer 90 %-iger IPA Alkohol verwendet.	Nicht möglich Da das Reinigen mit einem Wattestäbchen und einer sehr geringen Menge von IPA Alkohol durchgeführt wird ist das Entstehen eines Brandes praktisch unmöglich.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	1 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Beim Reinigen des Druckers wird leicht entflammbarer 90 %-iger IPA Alkohol verwendet. Dieser muss in größeren Mengen gelagert werden.	Äußerst gering Der Alkohol kann in relativ kleinen Mengen (1 Liter) erworben werden.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	4 Maßnahmen notwendig
Thermische Gefährdung, heiße Medien, Oberflächen	Bei einigen Anlagen ist eine Heizeinheit verbaut um eine konstante Materialzufuhr zu erhalten. Beim Reinigen kann der Nutzer an die gefährliche heiße Oberfläche kommen.	Äußerst gering Der Bereich des Druckers muss in relativ langen Abständen gereinigt werden.	Bagatellfolgen Da die Oberfläche der Heizeinheit nur 40°C besitzt kann es nur zu leichten Verbrennungen kommen	0 In Ordnung
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Im Druckprozess und beim Reinigen entstehen reizende Dämpfe, welchen der Nutzer ausgesetzt wird.	Vorstellbar Wenn der Nutzer sich längere Zeit während des Druckprozesses im gleichen Raum wie die Drucker aufhält oder der Drucker einmal relativ lange gereinigt werden muss.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Die Dämpfe können die Atemwege des Nutzers reizen.	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol können schädliche Dämpfe entstehen	Äußerst gering Die für die Reinigung des Druckers verwendete Stoffmenge ist sehr gering, so dass eine gefährliche Konzentration des Stoffes relativ unwahrscheinlich ist.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schläfrigkeit und Benommenheit	1 In Ordnung

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Die im Druckprozess eingesetzten Kunstharze sind reizend für die Haut.	Sehr hoch Da das Kunstharz meistens von Hand in den Druckbehälter eingefüllt wird. Das Harz muss von Hand aus dem Becken entfernt werden. Beim Reinigen des Druckers ist der Kontakt mit dem Kunstharz ebenfalls möglich.	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Das Kunstharz ist ätzend und verursacht schwere Hautreizungen	7 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen, Hautgefährdende Stoffe	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol kann dieser auf die Haut gelangen und diese schädigen	Vorstellbar Der Alkohol muss auf das Wattestäbchen aufgetragen werden. Außerdem kann der Nutzer ausversehen mit dem Stäbchen an seine Haut kommen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Reizt die Haut	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen, Hautgefährdende Stoffe	Die im Druckprozess eingesetzten Kunstharze sind stark reizend für die Augen.	Vorstellbar Beim Befüllen oder Entleeren des Kunstharzbeckens können Spritzer des Harzes in die Augen des Nutzers gelangen.	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Das Kunstharz verursacht schwere Augenreizungen	5 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen, Hautgefährdende Stoffe	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol kann dieser in die Augen gelangen und diese schädigen	Vorstellbar Sowohl beim Auftragen auf das Wattestäbchen als auch beim Reinigen des Druckers mit diesem können Tropfen des Alkohols in die Augen gelangen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Der IPA Alkohol verursacht schwere Augenreizungen	5 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen, Hautsensibilisierende Stoffe	Die im Druckprozess eingesetzten Kunstharze können bei Hautkontakt eine allergische Reaktion verursachen	Vorstellbar Da das Kunstharz meistens von Hand in den Druckbehälter eingefüllt wird. Das Harz muss von Hand aus dem Becken entfernt werden. Beim Reinigen des Druckers ist der Kontakt mit dem Kunstharz ebenfalls möglich, aber es verursacht nicht bei jedem Nutzer eine allergische Reaktion	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Entwicklung einer Allergie gegen das Kunstharz	5 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen, Hautgefährdende Stoffe	Die gefährlichen Kunstharze können durch falsche Lagerung austreten.	Äußerst gering Bei unsicherer Lagerung kann es zu Leckage der Vorratsbehälter kommen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Das Kunstharz ist ätzend und verursacht schwere Hautreizungen	3 Maßnahmen empfohlen
Gefährdungen durch psychische Belastungen, Lärm	Wenn die Maschinen in einem Büroumfeld aufgebaut werden, können sie die Mitarbeiter mit ihrer Geräuschkulisse stören	Vorstellbar Es sind Drucker vorhanden die lauter sind als die vorgeschriebenen 55 dB (A)	Verletzungen/ Erkrankungen Die Lärmbelastung liegt über dem Grenzwert von 55 dB (A) in Büroräumen damit kommt es bei den Mitarbeitern zu Stress	2 Maßnahmen empfohlen

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen, Optische Strahlung UV-Strahlung	Im Druckprozess entsteht schädliche UV-Strahlung, die zur Aushärtung der Kunstharze benötigt wird. Wenn der Nutzer während des Druckprozess die Tür des Druckers öffnet kann er dieser ausgesetzt werden.	Nicht vorstellbar Die Tür des Druckers ist mit Schutzmaßnahmen gegen das Öffnen während des Prozesses geschützt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Es besteht bei hoher UV-Dosis die Gefahr von Hautkrebs	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen, Optische Strahlung UV-Strahlung	Wird die Acrylglas-Schutztür mit IPA Alkohol gereinigt kann sie zerstört werden und die UV-Strahlung kann austreten	Äußerst gering Es kann vorkommen, dass die Schutztür mit IPA Alkohol gereinigt wird und das Glas somit zerstört wird und bei Betrieb der Anlage die Strahlung nach außen gelangt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Es besteht bei hoher UV Dosis die Gefahr von Hautkrebs	5 Maßnahmen notwendig
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen, Optische Strahlung Sichtbare Strahlung (DLP Drucker)	Beim DLP Verfahren wird mit sichtbarer Strahlung die Schicht erzeugt. Normalerweise kann der Nutzer während des Druckvorgangs nicht in das helle Licht des Projektors schauen.	Nicht vorstellbar Die Geräte sind so konstruiert, dass der Nutzer nicht der sichtbaren Strahlung ausgesetzt werden kann.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der Nutzer wird geblendet	0 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen, Optische Strahlung Sichtbare Strahlung (DLP Drucker)	Beim DLP Verfahren wird mit sichtbarer Strahlung die Schicht erzeugt, sind die Schutzmaßnahmen außer Betrieb gesetzt kann der Nutzer während des Druckvorgangs in das helle Licht des Projektors schauen.	Äußerst gering Es ist in seltenen Fällen möglich, dass die Schutzmaßnahmen außer Betrieb gesetzt werden	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der Nutzer wird geblendet	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen, Optische Strahlung Laser Strahlung (SLA Drucker)	Beim SLA Verfahren wird das Kunstharz mit Hilfe eines Lasers ausgehärtet. Normalerweise ist die Maschine mit technischen Schutzmaßnahmen ausgestattet, die verhindern, dass der Nutzer dem Laserlicht ausgesetzt wird.	Nicht vorstellbar Die Geräte sind so konstruiert, dass der Nutzer nicht der sichtbaren Strahlung ausgesetzt werden kann. Es handelt sich in diesem Fall um ein Klasse 1 Laser Produkt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann den Nutzer Erblinden lassen	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen, Optische Strahlung Laser Strahlung (SLA Drucker)	Bei dem SLA Verfahren wird das Kunstharz mit Hilfe eines Lasers ausgehärtet. Es ist möglich, dass die Sicherheitsmaßnahmen vom Nutzer außer Kraft gesetzt werden.	Äußerst gering Es ist in seltenen Fällen möglich, dass die Schutzmaßnahmen außer Betrieb gesetzt werden. Die Maschine ist in diesem Fall ein Klasse 3B oder Klasse 4 Laserprodukt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann den Nutzer Erblinden lassen	5 Maßnahmen notwendig

Anhang 17 Risikobeurteilung Werkstoffextrusion

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen den Motoren und den Motorenstopperrn	Vorstellbar Der Benutzer greift aus unterschiedlichen Gründen in den Arbeitsraum (bei Geräten ohne Gehäuse)	Bagatellfolgen Durch die geringen Geschwindigkeiten (max. 0,3 m/s) und das geringe Gewicht der Motoren kann es zu Hämatomen kommen	1 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen den Motoren und den Motorenstopperrn	Nicht vorstellbar Das Gehäuse verhindert das Hineingreifen in den Arbeitsraum (bei Geräten mit Gehäuse)	Bagatellfolgen Durch die geringen Geschwindigkeiten (max. 0,3 m/s) und das geringe Gewicht der Motoren zu Hämatomen kommen	0 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen der Bauplattform und dem Gehäuse	Äußerst gering Die Bauplattform senkt sich nur nach Beenden des Druckvorgangs schnell ab Bei Geräten mit Gehäuse ist die Wahrscheinlichkeit noch geringer	Bagatellfolgen Durch die geringen Geschwindigkeiten (max. 0,3 m/s) und das geringe Gewicht der Druckplattform kann es zu Hämatomen kommen	0 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Ecken, Kanten	Entfernen der Supportstruktur mit Messern oder Zangen, an dessen Schneide der Nutzer sich verletzen kann	Äußerst gering Das Abrutschen der Werkzeuge mit der Klinge in Richtung Benutzer ist sehr unwahrscheinlich	Verletzungen/ Erkrankungen Schnittverletzungen durch die Klängen von Messern oder Zangen	1 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Spitzen, Schneiden	Entfernung des gedruckten Produkts mit einer Spachtel.	Äußerst gering Das Abrutschen der Spachtel mit der Klinge in Richtung des Körpers des Benutzers ist sehr unwahrscheinlich	Bagatellfolgen Es kann zu kleineren Schnittverletzungen kommen	0 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Unkontrolliert bewegte Teile, Wegfliegende Teile	Herumfliegende Partikel beim schmirgeln der Teile mit Schmirgelpapier oder einem Bandschleifer, die in die Augen des Nutzers gelangen können	Vorstellbar Es lösen sich beim abschleifen häufig Bruchstücke von dem Druckobjekt. Insbesondere wenn ein Bandschleifer eingesetzt wird besitzen die Bruchstücke eine hohe Geschwindigkeit	Verletzungen/ Erkrankungen Augenentzündungen	2 Maßnahmen empfohlen
Elektrische Faktoren, Elektrischer Schlag und Störlichtbögen Stromschlag	Die Kabel sind nicht in einem Kabelschlauch verlegt. Sie werden leicht durchgescheuert und es kann zu einem elektrischen Stromschlag oder einem Brand kommen.	Nicht vorstellbar Wenn die Kabel durch Kabelschläuche geschützt sind	Verletzungs- /Erkrankungsfolgen Stromschlag	0 In Ordnung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Elektrische Faktoren, Elektrischer Schlag und Störlichtbögen Stromschlag	Die Kabel sind nicht in einem Kabelschlauch verlegt. Sie werden leicht durchgescheuert und es kann zu einem elektrischen Stromschlag oder einem Brand kommen.	Vorstellbar Wenn die Kabel nicht durch Kabelschläuche geschützt sind	Verletzungs- /Erkrankungsfolgen Stromschlag	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Einatmen von toxischen Dämpfen bei Bearbeitung von ABS	Vorstellbar Wenn sich Personen längere Zeit im Raum mit dem Gerät aufhalten	Auf lange Sicht schwerer Gesundheitsschaden kann krebserregend sein, durch den Ausstoß von Styrol einem Kategorie 2B karzinogen (Literaturrecherche)	7 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Einatmen von toxischen Dämpfen bei Bearbeitung von PLA	Vorstellbar Wenn sich Personen längere Zeit im Raum mit dem Gerät aufhalten	Kurzzeitig Bagatellfolgen, Leichte Hautreizungen Langzeitfolgen: Feinstaubproblematik (Literaturrecherche)	2 Maßnahmen empfohlen
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Bei Überhitzen des Heizbetts Brandgefahr	Nicht vorstellbar Die Geräte entsprechen der ProdSV	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	1 In Ordnung
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Der Benutzer greift während des Druckprozesses in den Arbeitsraum und verbrennt sich an der Düse oder dem Hotbed.	Vorstellbar Der Benutzer greift aus unterschiedlichen Gründen in den Arbeitsraum (Bei einer Maschine ohne Gehäuse)	Verletzungs- /Erkrankungsfolgen Es kommt zu Verbrennungen 3. Grades an Körperteilen, da die Extruder Düse jedoch eine sehr kleine Oberfläche besitzt ist diese nur lokal begrenzt	2 Maßnahmen empfohlen
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Der Benutzer greift während des Druckprozesses in den Arbeitsraum und verbrennt sich an der Düse oder dem Hotbed.	Nicht vorstellbar Da die Maschine gekapselt ist, kann der Nutzer nicht in den Arbeitsraum greifen (Bei einer Maschine mit Gehäuse)	Verletzungs- /Erkrankungsfolgen Es kommt zu Verbrennungen 3. Grades an Körperteilen, da die Extruder Düse jedoch eine sehr kleine Oberfläche besitzt ist diese nur lokal begrenzt	0 In Ordnung
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Beim Reinigen der Extruder Düse verbrennt der Nutzer sich die Finger an der heißen Extruderdüse	Äußerst gering Der Nutzer verwendet zum Reinigen der Düse das bereitgestellte Werkzeug	Verletzungs- /Erkrankungsfolgen Es kommt zu Verbrennungen 3. Grades an Körperteilen, da die Extruder Düse jedoch eine sehr kleine Oberfläche besitzt ist diese nur lokal begrenzt	1 In Ordnung
Gefährdungen durch psychische Belastungen, Lärm	Wenn die Maschinen in einem Büroumfeld aufgebaut werden, können sie die Mitarbeiter mit ihrer Geräuschkulisse stören	Nicht vorstellbar Die Lüfter des Druckers sind sehr leise (bei Druckern, die hochwertige Lüfter verbaut haben)	Keine Die Lärmbelastung liegt unter dem Grenzwert von 55 dB (A) in Büroräumen	0 In Ordnung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefährdungen durch psychische Belastungen, Lärm	Wenn die Maschinen in einem Büroumfeld aufgebaut werden, können sie die Mitarbeiter mit ihrer Geräuschkulisse stören	Vorstellbar Es sind Drucker vorhanden bei denen die Lüfter lauter sind (bei Druckern, die minderwertige Lüfter verbaut haben)	Verletzungen/ Erkrankungen Die Lärmbelästigung liegt über dem Grenzwert von 55 dB (A) in Büroräumen damit kommt es bei den Mitarbeitern zu Stress	2 Maßnahmen empfohlen

Anhang 18 Risikobeurteilung Werkstoffauftrag

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen dem höhenverstellbaren Druckkopf und dem Gehäuse bzw. der Bauplattform	Nicht vorstellbar Die Maschinen besitzen Schutztüren die das verhindern	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Quetschungen Knochenbrüche	0 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen dem höhenverstellbaren Druckkopf und dem Gehäuse bzw. der Bauplattform beim Reinigen des Druckers	Äußerst gering Normalerweise können sich die Komponenten des Druckers bei geöffneten Schutztüren nicht bewegen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Quetschungen Knochenbrüche	1 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Scher- /Schneidstelle	Der Nutzer kommt mit seinen Extremitäten in die Lüfter, wo die Extremitäten Gefahr laufen abgeschert zu werden.	Nicht vorstellbar Der Lüfter ist mit einem Schutzgitter geschützt, damit die Extremitäten des Nutzers nicht in den Lüfter gelangen können.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schwere Schnittverletzungen aufgrund der Geschwindigkeit und Kontur des Lüfters	0 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Einzugstelle	Wenn der Nutzer weite Kleidung oder eine Krawatte trägt kann diese von dem Rakel, der das Material nach dem Auftrag einebnet, eingezogen werden	Nicht vorstellbar Die Anlagen besitzen eine Schutztür welche das Einziehen der Kleidung verhindert	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Es kann zu Quetschung der Extremitäten kommen. Aber die Rollen besitzen keine große Kraft	0 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Schneiden	Entfernen der Supportstruktur mit Messern oder Zangen, an dessen Schneide der Nutzer sich verletzen kann	Äußerst gering Das Abrutschen der Werkzeuge mit der Klinge in Richtung Benutzer ist sehr unwahrscheinlich	Verletzungen/ Erkrankungen Schnittverletzungen durch die Klängen von Messern oder Zangen	1 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Schneiden	Der Rakel besitzt eine Klinge, an der sich der Nutzer beim Auswechseln der Klinge oder beim Reinigen des Druckers schneiden kann	Vorstellbar Beim Reinigen des Druckers oder dem Auswechseln der Klinge ist es möglich, dass der Nutzer sich an der Klinge schneidet	Verletzungen/ Erkrankungen Durch die Klinge kann es zu tieferen Schnittwunden kommen	2 Maßnahmen empfohlen
Mechanische Gefährdung, Unkontrolliert bewegte Teile, Wegfliegende Teile	Herumfliegende Partikel beim schmirgeln der Teile mit Schmirgelpapier oder einem Bandschleifer, die in die Augen des Nutzers gelangen können	Vorstellbar Es lösen sich häufig Bruchstücke von dem Objekt. Insbesondere wenn ein Bandschleifer eingesetzt wird besitzen die Bruchstücke eine hohe Geschwindigkeit	Verletzungen/ Erkrankungen Augenentzündungen	2 Maßnahmen empfohlen

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Beim Reinigen des Druckers wird leicht entflammbarer 90%iger IPA Alkohol verwendet.	Nicht möglich Da das Reinigen mit einem Wattestäbchen und einer sehr geringen Menge von IPA Alkohol durchgeführt wird ist das Entstehen eines Brandes praktisch unmöglich.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	1 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Beim Reinigen des Druckers wird leicht entflammbarer 90%iger IPA Alkohol verwendet. Dieser muss in größeren Mengen gelagert werden.	Äußerst gering Der Alkohol kann in relativ kleinen Mengen (1 L) erworben werden.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	4 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol können schädliche Dämpfe entstehen	Äußerst gering Die für die Reinigung des Druckers verwendete Stoffmenge ist sehr gering, so dass eine gefährliche Konzentration des Stoffes relativ unwahrscheinlich ist	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schläfrigkeit und Benommenheit	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol kann dieser auf die Haut gelangen und diese schädigen	Vorstellbar Der Alkohol muss auf das Wattestäbchen aufgetragen werden. Außerdem kann der Nutzer ausversehen mit dem Stäbchen an seine Haut kommen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Reizt die Haut	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol kann dieser in die Augen gelangen und diese schädigen	Vorstellbar Sowohl beim Auftragen auf das Wattestäbchen als auch beim Reinigen des Druckers mit diesem können Tropfen des Alkohols in die Augen gelangen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Der IPA Alkohol verursacht schwere Augenreizungen	5 Maßnahmen notwendig
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Das Werkstück muss nach dem Druckvorgang auskühlen. Berührt der Nutzer es zu früh kann er sich an ihm Verbrennen.	Vorstellbar Der Nutzer will das Werkstück zu früh aus dem Drucker holen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der Nutzer kann sich an dem ca. 65°C heißen Werkstück Verbrennungen 1. Grades zufügen	2 Maßnahmen empfohlen
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Der Druckkopf muss nach dem Druckvorgang auskühlen. Berührt der Nutzer ihn beim herausnehmen des Werkstücks kann er sich an ihm Verbrennen.	Vorstellbar Der Nutzer holt das Werkstück aus dem Bau- raum und kommt dabei an den heißen Druck- kopf	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der Nutzer kann sich an dem ca. 65°C heißen Druckkopf Verbrennungen 1. Grades zufügen	2 Maßnahmen empfohlen
Gefährdungen durch psychische Belastungen, Lärm	Wenn die Maschinen in einem Büro- umfeld aufgebaut werden, können sie die Mitarbeiter mit ihrer Geräuschkulisse stören	Sehr hoch Die Maschinen sind lauter als sie im Büro sein dürfen	Verletzungen/ Erkrankungen Die Lärmbelastung liegt über dem Grenzwert von 55 dB (A) in Büroräu- men damit kommt es bei den Mitar- beitern zu Stress	3 Maßnahmen empfohlen

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Elektrische Faktoren, Elektrischer Schlag und Störlichtbögen Stromschlag (Poly Jet Drucker)	Im Bereich der UV-Lampe befinden sich Verbindungsstecker. Greift der Nutzer in diese mit einem metallischen Gegenstand hinein kann er einen Stromschlag erhalten	Nicht vorstellbar Die Stecker sind mit einer Abdeckung geschützt, damit der Nutzer dort nicht hineingreifen kann	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod In den Steckern herrscht u.U. tödliche Netzspannung	1 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten (Poly Jet Drucker)	Die UV-Lampe kann, wenn sie zu lange brennt einen Brand verursachen	Nicht vorstellbar In der Maschine ist ein Sensor verbaut der bei zu hohen gemessenen Temperaturen die Lampe automatisch abschaltet	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Ein Brand kann tödlich enden	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen (Poly Jet Drucker)	Im Druckprozess und beim Reinigen entstehen reizende Dämpfe, welchen der Nutzer ausgesetzt wird.	Vorstellbar Der Nutzer kann den Dämpfen des nicht ausgehärteten Materials während des Reinigen des Druckers und bei schlechter Raumbelüftung ausgesetzt sein	Schwere bleibende Schäden Das Druckmaterial kann beim Einatmen die Organe Schädigen.	7 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen (Poly Jet Drucker)	Die zum Aushärten des Materials verwendete UV- Lampe enthält geringe Mengen Quecksilber. Beim Bruch der Lampe kann diese vom Nutzer eingeatmet werden.	Äußerst gering Es ist sehr unwahrscheinlich, dass die Lampe zerbricht.	Schwere bleibende Gesundheitsschäden Beim Einatmen kann es zur Schädigung des zentralen Nervensystems kommen	3 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen (Poly Jet Drucker)	Durch die UV-Lampe entstehen in ihrer Umgebung durch Reaktion mit dem Luftsauerstoff gefährliches Ozon	Äußerst gering Es entstehen in der Maschine nur sehr geringe Mengen von Ozon	Schwere bleibende Gesundheitsschäden Ozon ist ein Klasse 3B Karzinogen	4 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe (Poly Jet Drucker)	Die im Druckprozess eingesetzten Materialien sind reizend für die Haut.	Vorstellbar Die Materialien werden in Kartuschen gelagert die den Kontakt mit dem Nutzer verhindern. Nur beim Reinigen der Maschine kann er mit kleinen Mengen des nicht ausgehärteten Materials in Berührung kommen.	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Verursacht schwere Hautreizungen	5 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe (Poly Jet Drucker)	Die gefährlichen Druckmaterialien müssen sicher gelagert werden.	Äußerst gering Bei unsicherer Lagerung kann es zu Leckage der Vorratsbehälter kommen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Die Druckmaterialien verursachen schwere Hautreizungen	3 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe (Poly Jet Drucker)	Die im Druckprozess eingesetzten Materialien sind stark reizend für die Augen.	Äußerst gering Die Materialien werden in Kartuschen gelagert die den Kontakt mit dem Nutzer verhindern. Nur beim Reinigen der Maschine kann das Material in nicht ausgehärteter Form in die Augen spritzen.	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Verursacht schwere Hautreizungen	3 Maßnahmen empfohlen

Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautsensibilisierende Stoffe (Poly Jet Drucker)	Die im Druckprozess eingesetzten Materialien können bei Hautkontakt eine allergische Reaktion verursachen	Äußerst gering Die Materialien werden in Kartuschen gelagert die den Kontakt mit dem Nutzer verhindern. Nur beim Reinigen der Maschine kann er mit kleinen Mengen des nicht ausgehärteten Materials in Berührung kommen.	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Entwicklung einer Allergie gegen das Material	3 Maßnahmen empfohlen
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen (Poly Jet Drucker)	Die UV-Lampe muss nach dem Druckvorgang auskühlen. Berührt der Nutzer sie beim herausnehmen des Werkstücks kann er sich an ihr Verbrennen.	Vorstellbar Der Nutzer holt das Werkstück aus dem Bau- raum und kommt dabei an die heiße UV-Lampe	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Der Nutzer kann sich an der heißen UV-Lampe Verbrennungen 2. Grades zufügen	5 Maßnahmen notwendig
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung UV-Strahlung (Poly Jet Drucker)	Im Druckprozess entsteht schädliche UV-Strahlung, die zur Aushärtung der Druckmaterialien benötigt wird. Wenn der Nutzer während des Druckprozesses die Tür des Druckers öffnet kann er dieser ausgesetzt werden.	Nicht vorstellbar Die Tür des Druckers ist mit Schutzmaßnahmen gegen das Öffnen während des Prozesses geschützt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Es besteht bei hoher UV-Dosis die Gefahr von Hautkrebs	1 In Ordnung

Anhang 19 Risikobeurteilung Bindemittelauftrag

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Die Extremitäten des Nutzers können zwischen den Achsen des Druckers und dem Gehäuse eingeklemmt werden	Äußerst gering Die Achsen des Druckers bewegen sich normalerweise nur in Ausnahmefällen bei einem geöffneten Gehäuse	Bagatellfolgen Hämatome und kleinere Quetschungen an den Extremitäten	0 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Einzugstelle	Wenn der Nutzer weite Kleidung oder eine Krawatte trägt kann diese von dem Rakel welche das Pulver glättet eingezogen werden	Nicht vorstellbar Die Maschinen besitzen Sicherheitstüren, die das Einziehen der Kleidung verhindern.	Bagatellfolgen Da das Rakel keine besonders hohe Kraft und Geschwindigkeit besitzt sind kommt es nur zu geringen Verletzungen wie Hämatome	0 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Unkontrolliert bewegte Teile, wegfliegende Teile	Herumfliegende Partikel beim schmirgeln der Teile mit Schmirgelpapier oder einem Bandschleifer die in die Augen des Nutzers gelangen	Vorstellbar Es lösen sich häufig Bruchstücke von dem Objekt. Insbesondere wenn ein Bandschleifer eingesetzt wird besitzen die Bruchstücke eine hohe Geschwindigkeit	Verletzungen/ Erkrankungen Augenentzündungen	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Das Einatmen des pulverförmigen Werkstoffes kann Atemwegsreizungen verursachen. Diese Gefahr besteht immer dann, wenn der Nutzer mit dem Pulver arbeitet.	Sehr hoch Diese Gefahr besteht generell beim Handhaben von Pulver (Einfüllen, Entnehmen des Werkstückes, Reinigen der Maschine, Aufbereitend es Pulvers)	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schwere Atemwegsreizungen	3 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Die im Druckprozess eingesetzten Binder sind gefährlich für die Haut.	Vorstellbar Das Bindemittel muss von Hand in den Vorratsbehälter gefüllt werden. Auch beim Reinigen des Druckers kann der Nutzer in Kontakt mit dem Bindemittel kommen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der Binder verursacht Hautreizungen	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Die im Druckprozess eingesetzten Binder sind gefährlich für die Augen.	Äußerst gering In seltenen Fällen können beim Auffüllen des Binders im Drucker Spritzer in die Augen des Nutzers gelangen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der Binder verursacht Augenreizungen	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Die im Post Process verwendeten Härter verursachen starke Verätzungen sowohl auf der Haut als auch in den Augen	Vorstellbar Beim Härten der Bauteile muss der Härter von Hand in das Becken gegeben und daraus wieder entfernt werden	Leichte bleibende Gesundheitsschäden Verätzungen der Haut und der Augen	5 Maßnahmen notwendig
Brände/Explosionen; Brennbare Feststoffe, Brennbare Flüssigkeiten	Das zum Reinigen des Druckers verwendete Mittel ist sehr leicht entzündlich	Vorstellbar Der Lagerbehälter des Reinigungsmittels steht an einem falschen Ort, so dass sich der Inhalt entzünden kann	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Ein Brand kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre	Bei der Verwendung von organischen Stäuben kann es zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre und sogar zur Explosion kommen.	Äußerst gering Die Explosionsgefahr ist bei der Verwendung von organischen Stäuben wesentlich geringer als bei Metallpulver	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	4 Maßnahmen notwendig
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre	Wird beim Absaugen des Pulvers ein herkömmlicher Staubsauger verwendet kann es zu einem Funken kommen, welcher eine Explosion auslöst.	Vorstellbar Bei Verwendung von organischen Stäuben und eines normalen Staubsaugers kann es zu einer Explosion kommen	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Die Rückwand des Druckers ist heiß. Bei Berührung wird dies für den Nutzer gefährlich	Äußerst gering Der Nutzer muss nur in sehr seltenen Fällen (zur Reinigung des Gerätes) die Rückwand des Druckers berühren.	Bagatellschäden Die Temperatur, der Rückwand kann maximal 45°C betragen was bei einer kurzen Berührung zu keiner Verbrennung führt	1 In Ordnung
Gefährdungen durch psychische Belastungen, Lärm	Wenn die Maschinen in einem Büroumfeld aufgebaut werden, können sie die Mitarbeiter mit ihrer Geräuschkulisse stören	Sehr hoch Die Lärmbelastung ist während des gesamten Druckprozesses zu hoch	Verletzung/ Erkrankungsfolgen Die Lärmbelastung der Geräte liegt über dem im Büro zulässigen Lärmgrenzwert von 55 dB (A) weshalb sich dort Personen nicht mehr konzentrieren können	3 Maßnahmen empfohlen

Anhang 20 Risikobeurteilung Pulverbettbasiertes Schmelzen

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Die Extremitäten des Nutzers können zwischen der Absenkbaren Bauplattform und dem Gehäuse eingequetscht werden	Nicht vorstellbar Die Maschinen besitzen Sicherheitstüren, die das Einquetschen der Extremitäten verhindern.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Knochenbrüche, Schwere Quetschungen	1 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Einzugstelle	Wenn der Nutzer weite Kleidung oder eine Krawatte trägt, kann diese von dem Raket welche das Pulver glättet eingezogen werden	Nicht vorstellbar Die Maschinen besitzen Sicherheitstüren, die das Einziehen der Kleidung verhindern.	Bagatellfolgen Da das Raket keine besonders hohe Kraft und Geschwindigkeit besitzt sind kommt es nur zu geringen Verletzungen wie Hämatomen	0 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Herabfallen/ sich lösen	Die schwere Bauplattform, Pulvergefäße oder andere schwere Teile können bei der Entnahme aus der Maschine dem Nutzer auf die Füße fallen	Vorstellbar Bei Unachtsamkeit des Nutzers ist es möglich, dass die schweren Bauteile ihm auf die Füße fallen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Knochenbrüche	2 Maßnahmen empfohlen
Mechanische, Sturz, Ausrutschen, Stolpern, Umknicken; Rutschige Tritflächen	Das Pulver das zum Drucken benötigt wird, kann aus der Maschine herausrieseln und sich auf dem Boden verteile, so dass der Nutzer darauf ausrutschen kann	Sehr hoch Bei der Arbeit mit Pulver rieselt immer etwas davon auf den Boden	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Knochenbrüche	3 Maßnahmen empfohlen
Mechanische, Sturz, Ausrutschen, Stolpern, Umknicken; Stolperstellen	Der Nutzer oder andere Personen können über die herumliegenden Elektrischen Kabel oder Schläuche stolpern.	Vorstellbar Da die Maschinen neben den Stromkabeln auch noch Schläuche besitzen, die das Inertgas in die Maschine leiten ist es durchaus möglich, dass Personen darüber stolpern.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Knochenbrüche	2 Maßnahmen empfohlen
Mechanisch; Absturz; Fallen/ Kippen/ Rollen	Einige der Maschinen können Umkippen, wenn diese noch nicht fest mit dem Boden verschraubt sind und die Tür der Maschine geöffnet wird.	Äußerst gering Die Maschinen müssen nicht sehr häufig an neue Plätze verlagert werden.	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Die Maschine besitzt ein so hohes Gewicht, dass sie den Nutzer erschlagen kann.	4 Maßnahmen notwendig
Elektrische Faktoren, Elektrischer Schlag und Störlichtbögen; Stromschlag	Wenn die Sicherheitsmaßnahmen der Maschinen außer Kraft gesetzt werden, können gefährliche Stromschläge entstehen.	Nicht vorstellbar Unter normalen Umständen werden die Sicherheitseinrichtungen nicht außer Kraft gesetzt	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Die Betriebsspannung der Maschinen ist für Menschen tödlich	1 In Ordnung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Elektrische Faktoren; Statische Elektrizität; Elektrischer Schlag	Bei der Verarbeitung von metallischen Werkstoffen in Pulverform können diese sich statisch aufladen und zu einer Elektrischen Entladung am Nutzer führen	Sehr hoch Da metallisches Pulver auch noch Stunden nach der Zerstäubung statisch aufgeladen sein kann	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Stromschläge durch die statische Entladung	3 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe; Einatmen von Gefahrstoffen	Das Einatmen des pulverförmigen Werkstoffes kann Atemwegsreizungen verursachen. Diese Gefahr besteht immer dann, wenn der Nutzer mit dem Pulver arbeitet.	Sehr hoch Diese Gefahr besteht generell beim Handhaben von Pulver (Einfüllen, Entnehmen des Werkstückes, Reinigen der Maschine, Aufbereiten des Pulvers)	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schwere Atemwegsreizungen	3 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe; Einatmen von Gefahrstoffen	Der Nutzer kann die Rauch- und Inertgase die im Prozess entstehen/ verwendet werden einatmen.	Äußerst gering Die Maschinen besitzen eine Absaugung und Dichtungen, die das Austreten der Gase verhindern	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schwere Atemwegsreizungen	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Einige der verwendeten Metalllegierungen können Haut und Augenreizungen verursachen. Unter Umständen können auch karzinogene Stoffe verwendet werden	Sehr hoch Diese Gefahr besteht generell beim Handhaben von Pulver (Einfüllen, Entnehmen des Werkstückes, Reinigen der Maschine, Aufbereiten des Pulvers)	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Manche Werkstoffe können Haut und Augenreizungen verursachen, u.U. manche auch Krebs	7 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe; Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautsensibilisierende Stoffe (Verwendung von Nickel)	Wenn als Werkstoff Nickel verwendet wird kann dieser eine allergische Reaktion des Nutzers hervorrufen	Vorstellbar Bei Verwendung von Nickel als Werkstoff hat der Nutzer relativ häufig Kontakt mit dem Werkstoff	Leichte bleibende Schäden Ausbilden einer Allergie gegen Nickel	5 Maßnahmen notwendig
Brände/Explosionen, Brennbare Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase	Pulverförmige Werkstoffe sind sehr leicht entzündlich. Sie können im gesamten Fertigungsprozess Brände verursachen.	Vorstellbar Beim Umgang mit pulverförmigen Werkstoffen können sich Brände entwickeln	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Ein Brand kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig
Brände/Explosionen, Brennbare Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase	Pulverförmige Werkstoffe sind sehr leicht entzündlich. Insbesondere muss Vorsicht beim Reinigen des Werkstoffes durch Sieben gewahrt werden	Vorstellbar Beim Sieben der pulverförmigen Werkstoffe können sich Brände entwickeln	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Ein Brand kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre	Bei der Verwendung von Metallpulvern kann es zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre und sogar zur Explosion kommen. Besondere Gefahren können beim Umgang mit Aluminium als Werkstoff entstehen	Vorstellbar Beim Umgang mit Metallpulvern kann es zu einer explosionsfähigen Atmosphäre kommen.	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre	Wird beim Absaugen des Pulvers ein herkömmlicher Staubsauger verwendet kann es zu einem Funken kommen welcher eine Explosion auslöst.	Sehr hoch Wird der falsche Staubsauger verwendet, löst dieser irgendwann mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Explosion aus	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	10 Maßnahmen unabdingbar
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre	Bei der Verwendung von Aluminiumpulver oder anderen reaktionsfreudigen Metallen kann es bei der Reinigung des Filters zur Explosion kommen, da dabei die Absaugung außer Betrieb ist	Sehr hoch Durch das Abschalten der Absaugung beim Reinigen der Filter entsteht eine gefährliche Situation	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	10 Maßnahmen unabdingbar
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Während des Prozesses werden sowohl der Arbeitsraum als auch der Werkstoff aufgeheizt nach Beendigung des Druckvorgangs sind beide Bereiche sehr heiß und der Nutzer kann sich dort verbrennen	Sehr hoch Da während des Druckprozesses sowohl der Bauraum als auch der Werkstoff auf mehrere hundert °C aufgeheizt werden entstehen in beiden Bereichen heiße Oberflächen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Verbrennungen 3. Grades der Extremitäten des Nutzers	7 Maßnahmen notwendig
Physische Belastungen/ Arbeitsschwere; Heben, Halten, Tragen	Der Nutzer muss mehrmals am Tag zum Teil sehr schwere Werkstücke (> 20 kg) inklusive des Kuchens aus dem Bauraum der Maschine entfernen	Vorstellbar Da der Nutzer die Bauteile mehrmals am Tag aus der Maschine herausholen muss	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Bei der Handhabung von Lasten (> 20 kg) Kommt es auf Dauer zu Schädigung des Rückens	5 Maßnahmen notwendig
Arbeitsumgebungsbedingungen; Ersticken, Ertrinken; Ersticken (SLS und SLM Drucker)	Während des Druckvorgangs wird Argon im Arbeitsraum eingesetzt. Beim Öffnen des Arbeitsraums nach dem Druckvorgang kann dieses austreten und bei einer zu großen Konzentration gefährlich werden	Äußerst gering Argon ist schwerer als Luft und sinkt auf den Boden. Dort sammelt es sich. Dies geschieht allerdings nur bei schlechter Belüftung und es treten beim Öffnen der Maschine nur relativ geringe Mengen an Argon aus	Krankheiten/ Verletzungsfolgen Bewusstlosigkeit	1 In Ordnung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Arbeitsumgebungsbedingungen; Ersticken, Ertrinken; Ersticken (SLS und SLM Drucker)	Die beiden Verfahren arbeiten unter zu Hilfenahme von Inertgas dieses wird mit Überdruck in die Maschine gepumpt. Platzt ein Ventil der Überdruckleitung kann die Konzentration von Argon im Bodenbereich gefährlich für den Nutzer werden.	Äußerst gering Es kommt nur sehr selten vor, dass Überdruckventile nicht mehr funktionieren.	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden, Tod Bei zu geringer Sauerstoffkonzentration kann der Nutzer ersticken.	4 Maßnahmen notwendig
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Laser Strahlung (SLS und SLM Drucker)	Bei den SLS und SLM Verfahren wird das Pulver mit Hilfe eines Lasers versintert bzw. verschmolzen. Normalerweise ist die Maschine mit technischen Schutzmaßnahmen ausgestattet, die verhindern, dass der Nutzer dem Laserlicht ausgesetzt wird.	Nicht vorstellbar Die Geräte sind so konstruiert, dass der Nutzer nicht der sichtbaren Strahlung ausgesetzt werden kann. Es handelt sich in diesem Fall um ein Klasse 1 Laser Produkt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann Menschen Erblinden lassen	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Laser Strahlung (SLS und SLM Drucker)	Bei den SLS und SLM Verfahren wird das Pulver mit Hilfe eines Lasers versintert bzw. verschmolzen. Es ist möglich, dass die Schutzmaßnahmen vom Nutzer außer Kraft gesetzt werden.	Äußerst gering Es ist in seltenen Fällen möglich, dass die Schutzmaßnahmen außer Betrieb gesetzt werden. Die Maschine ist in diesem Fall ein Klasse 4 Laserprodukt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann Menschen Erblinden lassen	5 Maßnahmen notwendig
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Optische Strahlung (SLS und SLM Drucker)	Einige Maschinen besitzen einen besonderen Modus, bei dem vom Laser eine größere Energie freigesetzt wird und der somit heller leuchtet.	Äußerst gering Die Maschinen besitzen ein Laserschutzglas, bei Verwendung des Modus kann dieses den Nutzer nicht mehr vollständig schützen. Dabei handelt es sich aber um einen eher selten eingesetzten Modus.	Leichte bleibende Gesundheitsschäden Der Laser wird durch ein Laserschutzglas abgeschwächt, dass er nur noch punktuellen Erblindungen am Auge durch Reflektion im Bauraum auslösen kann.	3 Maßnahmen empfohlen
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Überdruck/ Unterdruck Überdruck (SLS und SLM Drucker)	Die beiden Verfahren arbeiten unter zu Hilfenahme von Inertgas. Dieses wird mit Überdruck in die Maschine gepumpt. Platzt ein Ventil der Überdruckleitung kann dies gefährlich für den Nutzer werden.	Äußerst gering Es kommt nur sehr selten vor, dass Überdruckventile nicht mehr funktionieren.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der hohe Druck mit dem das Gas aus dem Ventil schießt kann zu Knochenbrüchen führen.	1 In Ordnung
Arbeitsumgebungsbedingungen; Ersticken, Ertrinken; Ersticken (EBM Drucker)	Das EBM Verfahren arbeitet mit Vakuum. Der Mitarbeiter kann in das Vakuum des Bauraums und damit einen sauerstoffarmen Raum hineingeraten	Nicht vorstellbar Das Vakuum wird nur in der Baukammer erzeugt. Beim Öffnen der Schutztür strömt sofort Luft in den Bauraum.	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden, Tod Der Mitarbeiter kann ersticken	1 In Ordnung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Ionisierte Strahlung Röntgenstrahlung (EBM Drucker)	Der beim EBM Verfahren eingesetzte Elektronenstrahl gibt geringe Menge an Röntgenstrahlung. Ab einer gewissen Jahreskonzentration kann diese für den Nutzer gefährlich werden.	Äußerst gering Es entsteht zwar Röntgenstrahlung beim Einsatz eines Ionenstrahls diese entsteht aber nur in sehr geringen Dosen	Bagatelldfolgen Da die Strahlungsbelastung des Nutzers unter den Grenzwerten liegt kommt es zu keiner Schädigung des Nutzers.	0 In Ordnung

Anhang 21 Risikobeurteilung Schichtlaminierung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen den Motoren und den Motorenstoppfen	Äußerst gering Die Geräte besitzen normalerweise ein Gehäuse. Beim Reinigen der Geräte kann es vorkommen.	Bagatellfolgen Durch die geringen Geschwindigkeiten und das geringe Gewicht der Bauplattform kann es zu Hämatomen oder vergleichbarem kommen	0 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Einklemmen von Extremitäten zwischen der Türe der Maschine und dem Gehäuse	Vorstellbar Die Türen müssen häufig geschlossen werden und der Nutzer kann sich dabei dort die Extremitäten einklemmen	Bagatellfolgen Durch die geringe Geschwindigkeit mit der die Türen geschlossen werden kommt es zu Hämatomen	1 In Ordnung
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Einzugsstelle	Wenn der Nutzer weite Kleidung oder eine Krawatte trägt kann diese von den Rollen die das Material abgeben oder aufnehmen eingezogen werden	Äußerst gering Die Anlagen besitzen eine Schutztür welche das Einziehen der Kleidung verhindert	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Es kann zu Quetschung der Extremitäten kommen. Aber die Rollen besitzen keine große Kraft	1 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Beim Reinigen des Druckers wird leicht entflammbarer 90%iger IPA Alkohol verwendet.	Nicht möglich Da das Reinigen mit einem Wattestäbchen und einer sehr geringen Menge von IPA Alkohol durchgeführt wird ist das Entstehen eines Brandes praktisch unmöglich.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	1 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten	Beim Reinigen des Druckers wird leicht entflammbarer 90%iger IPA Alkohol verwendet. Dieser muss in größeren Mengen gelagert werden.	Äußerst gering Der Alkohol kann in relativ kleinen Mengen (1 L) erworben werden.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	4 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol können schädliche Dämpfe entstehen	Äußerst gering Die für die Reinigung des Druckers verwendete Stoffmenge ist sehr gering, so dass eine gefährliche Konzentration des Stoffes relativ unwahrscheinlich ist	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schläfrigkeit und Benommenheit	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol kann dieser auf die Haut gelangen und diese schädigen	Vorstellbar Der Alkohol muss auf das Wattestäbchen aufgetragen werden. Außerdem kann der Nutzer ausversehen mit dem Stäbchen an seine Haut kommen	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Reizt die Haut	2 Maßnahmen empfohlen

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Bei der Reinigung des Druckers mit IPA Alkohol kann dieser in die Augen gelangen und diese schädigen	Vorstellbar Sowohl beim Auftragen auf das Wattestäbchen als auch beim Reinigen des Druckers mit diesem können Tropfen des Alkohols in die Augen gelangen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Der IPA Alkohol verursacht schwere Augenreizungen	5 Maßnahmen notwendig
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Spitzen, Schneiden (bei Geräten die das Material mit einem Messer trennen)	Beim Einsetzen des Messers in den Messerhalter kann der Nutzer sich an diesem Schneiden	Vorstellbar Das Einsetzen des Messers muss von Hand geschehen	Bagatellfolgen Die Schneide des Messers ist nicht besonders lang und das Messer ist beim Einsetzen in Ruhe es kann nur zu kleineren Schnittverletzungen kommen.	1 In Ordnung
Mechanische Gefährdung, Teile mit gefährlichen Oberflächen, Spitzen, Schneiden (bei Geräten die das Material mit einem Messer trennen)	Der Nutzer kann bei laufenden Gerät in den Bauraum fassen und sich so am sich bewegenden Messer schneiden	Nicht vorstellbar Die Geräte sind mit Schutztüren ausgestattet, die genau das verhindern.	Verletzung/ Erkrankungsfolgen Der Nutzer kann sich am bewegenden Messer tiefe Schnittwunden zufügen	0 In Ordnung
Brände/Explosionen, Brennbare Flüssigkeiten (bei Verklebung von Polymeren)	Der zur Verklebung von Polymeren verwendete Kleber ist leicht entzündlich	Äußerst gering Der Kleber kann in relativ kleinen Mengen (1 L) erworben werden.	Schwerer Gesundheitsschaden/ Tod Durch den entstehenden Brand herrscht Lebensgefahr	4 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen (bei Verklebung von Polymeren)	Im Druckprozess entstehen reizende Dämpfe, welchen der Nutzer ausgesetzt wird.	Vorstellbar Wenn der Nutzer sich längere Zeit während des Druckprozesses im gleichen Raum wie die Drucker aufhält oder der Drucker einmal relativ lange gereinigt werden muss.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Die Dämpfe können die Atemwege des Nutzers reizen.	2 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe (bei Verklebung von Polymeren)	Die im Druckprozess eingesetzten Polymerkleber sind reizend für die Augen.	Vorstellbar Beim Befüllen oder Entleeren des Klebervorratsgefäßes können Spritzer des Klebers in die Augen des Nutzers gelangen.	Verletzung/ Erkrankungsfolgen Der Kleber verursacht Augenreizungen	2 Maßnahmen empfohlen

Gefährdungsfaktor	Beschreibung der Gefährdung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe (bei Verklebung von Polymeren)	Der zur Verklebung von Polymeren verwendete Kleber ist gefährlich für die Haut des Nutzers	Vorstellbar Beim Reinigen des Druckers und beim auffüllen des Klebebehältnisses kann die Haut des Nutzers in Kontakt mit dem Kleber kommen	Verletzung/ Erkrankungsfolgen Reizungen der Haut	2 Maßnahmen empfohlen
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen (bei Geräten mit Heizbett)	Beim Reinigen des Druckers und der Entnahme des Objektes aus dem Drucke, kann der Nutzer sich die Finger am Heizbett verbrennen	Vorstellbar Der Nutzer kann beim Reinigen an das Heizbett fassen	Bagatellfolgen Die Heizplatte ist nach dem Drucken nicht mehr so heiß und es kommt zu leichten Verbrennungen	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen (Bei Geräten die mit einem heißen Draht oder Laser schneiden)	Beim Schneiden des Klebers und des Werkstückes mit einem heißen Draht können gefährliche Dämpfe entstehen	Vorstellbar Bei diesem Verfahren können gefährliche Dämpfe aus dem Drucker entweichen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Schädigung der Atemorgane	5 Maßnahmen notwendig
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen (Bei Geräten die mit einem heißen Draht schneiden)	Der Nutzer verbrennt sich an dem heißen Draht, welcher das Werkstück schneidet	Nicht vorstellbar Die Maschinen besitzen Schutztüren, die das verhindern	Schwere bleibende Schäden Der Draht besitzt eine hohe Temperatur und kann damit dem Nutzer schwere Verbrennungen zufügen und Körperteile abtrennen.	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Laser Strahlung (Drucker die mit einem Laser schneiden)	Bei manchen Druckern wird das Material mit einem Laser ausgeschnitten. Normalerweise ist die Maschine mit technischen Schutzmaßnahmen ausgestattet, die verhindern, dass der Nutzer dem Laserlicht ausgesetzt wird.	Nicht vorstellbar Die Geräte sind so konstruiert, dass der Nutzer nicht der sichtbaren Strahlung ausgesetzt werden kann. Es handelt sich in diesem Fall um ein Klasse 1 Laser Produkt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann Menschen Erblinden lassen	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Laser Strahlung (Drucker die mit einem Laser schneiden)	Bei manchen Druckern wird das Material mit einem Laser ausgeschnitten. Es ist möglich, dass die Sicherheitsmaßnahmen vom Nutzer außer Kraft gesetzt werden.	Äußerst gering Es ist in seltenen Fällen möglich, dass die Schutzmaßnahmen außer Betrieb gesetzt werden. Die Maschine ist in diesem Fall ein Klasse 3B oder 4 Laserprodukt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann Menschen Erblinden lassen	5 Maßnahmen notwendig

Anhang 22 Risikobeurteilung Gerichtete Energieeinbringung

Gefährdungsfaktor	Beschreibung des Risikos	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Mechanische, Kontrollierte Bewegte Maschinenteile, Quetschstelle	Der Nutzer kann seine Extremitäten zwischen den sich bewegenden Motoren und dem Gehäuse einquetschen.	Vorstellbar Im Gegensatz zu anderen Maschinen können die Motoren hier, auch bei geöffneter Schutztür bewegt werden.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Die Motoren besitzen ein Gewicht von mehreren Kilo und erhöhte Geschwindigkeiten so dass es zu Quetschungen und Knochenbrüchen kommen kann	2 Maßnahmen empfohlen
Elektrische Faktoren, Elektrischer Schlag und Störlichtbögen Stromschlag	Wenn die Sicherheitsmaßnahmen der Maschinen außer Kraft gesetzt werden können gefährliche Stromschläge entstehen.	Nicht vorstellbar Unter normalen Umständen werden die Sicherheitseinrichtungen nicht außer Kraft gesetzt	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Die Betriebsspannung der Maschinen ist für Menschen tödlich	1 In Ordnung
Gefahrstoffe Einatmen von Gefahrstoffen	Beim Aufschmelzen des Schweißwerkstoffes entstehen Dämpfe, je nach Werkstoff können diese gefährlich sein	Sehr hoch Die Anlagen besitzen zwar ein Gehäuse, der Prozess findet aber nicht unter Vakuum oder unter Inertgasatmosphäre statt	Leichte bleibende Gesundheitsschäden Je nach verwendetem Werkstoff können sich giftige Gase bilden die die Lunge des Nutzers schädigen	7 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautgefährdende Stoffe	Einige der verwendeten Metalllegierungen können Haut- und Augenreizungen verursachen. Unter Umständen können auch karzinogene Stoffe verwendet werden	Sehr hoch Diese Gefahr besteht generell beim Handhaben der Werkstoffe	Leichter bleibender Gesundheitsschaden Manche Werkstoffe können Haut und Augenreizungen verursachen, u.U. manche auch Krebs	7 Maßnahmen notwendig
Gefahrstoffe; Hautkontakt mit Gefahrstoffen Hautsensibilisierende Stoffe (Verwendung von Nickel)	Wenn als Werkstoff Nickel verwendet wird kann dieser eine allergische Reaktion des Nutzers hervorrufen	Vorstellbar Bei Verwendung von Nickel als Werkstoff hat der Nutzer relativ häufig Kontakt mit dem Werkstoff	Leichte bleibende Schäden Ausbilden einer Allergie gegen Nickel	5 Maßnahmen notwendig
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Einige der Maschinen sind mit einer Heizplatte ausgestattet, an der sich der Nutzer beim herausnehmend es Werkstücks verbrennen kann.	Vorstellbar Der Benutzer fasst beim Entfernen des Werkstücks aus dem Bauraum auf die Heizplatte	Leichte bleibende Gesundheitsschäden Es kommt zu Verbrennungen 3. Grades an Körperteilen	5 Maßnahmen notwendig
Thermische Gefährdung, Heiße Medien, Oberflächen	Das Werkstück ist nach Beendigung des Druckvorgangs noch heiß. Der Nutzer kann sich beim Entfernen aus dem Bauraum an ihm verbrennen	Vorstellbar Der Nutzer lässt das Werkstück nicht lange genug abkühlen und verbrennt sich an ihm	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Es kann zu Verbrennungen kommen	2 Maßnahmen empfohlen

Gefährdungsfaktor	Beschreibung des Risikos	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Laser Strahlung	Das Schweißmaterial wird mit Hilfe eines Lasers verschmolzen. Normalerweise ist die Maschine mit technischen Schutzmaßnahmen ausgestattet, die verhindern, dass der Nutzer dem Laserlicht ausgesetzt wird.	Nicht vorstellbar Die Geräte sind so konstruiert, dass der Nutzer nicht der sichtbaren Strahlung ausgesetzt werden kann. Es handelt sich in diesem Fall um ein Klasse 1 Laser Produkt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann Menschen Erblinden lassen	1 In Ordnung
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Optische Strahlung Laser Strahlung	Das Schweißmaterial wird mit Hilfe eines Lasers verschmolzen. Es ist möglich, dass die Schutzmaßnahmen vom Nutzer außer Kraft gesetzt werden.	Äußerst gering Es ist in seltenen Fällen möglich, dass die Schutzmaßnahmen außer Betrieb gesetzt werden. Die Maschine ist in diesem Fall ein Klasse 4 Laserprodukt	Schwere, bleibende Gesundheitsschäden Der Laser kann Menschen Erblinden lassen	5 Maßnahmen notwendig
Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen Überdruck/ Unterdruck Überdruck	Das Verfahren arbeitet unter zu Hilfenahme von Inertgas, dieses wird mit Überdruck in die Maschine gepumpt. Platzt ein Ventil der Überdruckleitung kann dies gefährlich für den Nutzer werden.	Äußerst gering Es kommt nur sehr selten vor, dass Überdruckventile nicht mehr funktionieren.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Der hohe Druck mit dem das Gas aus dem Ventil schießt kann zu Knochenbrüchen führen.	1 In Ordnung
Mechanische, Sturz, Ausrutschen, Stolpern, Umknicken; Rutschige Trittplächen (Pulverschweißen)	Das Pulver, das zum Drucken benötigt wird, kann aus der Maschine herausrieseln und sich auf dem Boden verteilen, so dass der Nutzer darauf ausrutschen kann	Sehr hoch Bei der Arbeit mit Pulver rieselt immer etwas davon auf den Boden	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Knochenbrüche	3 Maßnahmen empfohlen
Elektrische Faktoren; Statische Elektrizität; Elektrischer Schlag (Pulverschweißen)	Bei der Verarbeitung von metallischen Werkstoffen in Pulverform, können diese sich statisch aufladen und zu einer Elektrischen Entladung am Nutzer führen	Sehr hoch Da metallisches Pulver auch noch Stunden nach der Zerstäubung statisch aufgeladen sein kann.	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Stromschläge durch die statische Entladung	3 Maßnahmen empfohlen
Gefahrstoffe; Einatmen von Gefahrstoffen (Pulverschweißen)	Das Einatmen des pulverförmigen Werkstoffes kann Atemwegsreizungen verursachen. Diese Gefahr besteht immer dann, wenn der Nutzer mit dem Pulver arbeitet.	Sehr hoch Diese Gefahr besteht generell beim Handhaben von Pulver (Einfüllen, Entnehmen des Werkstückes, Reinigen der Maschine, Aufbereiten des Pulvers)	Verletzungen/ Erkrankungsfolgen Schwere Atemwegsreizungen	3 Maßnahmen empfohlen
Brände/Explosionen, Brennbare Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase (Pulverschweißen)	Pulverförmige Werkstoffe sind sehr leicht entzündlich. Sie können im gesamten Fertigungsprozess Brände verursachen.	Vorstellbar Beim Umgang mit pulverförmigen Werkstoffen können sich Brände entwickeln	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Ein Brand kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig

Gefährdungsfaktor	Beschreibung des Risikos	Eintrittswahrscheinlichkeit	Folgen	Risiko (Ergebnis)
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre (Pulverschweißen)	Bei der Verwendung von Metallpulvern kann es zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre und sogar zur Explosion kommen. Besondere Gefahren können beim Umgang mit Aluminium als Werkstoff entstehen	Vorstellbar Beim Umgang mit Metallpulvern kann es zu einer explosionsfähigen Atmosphäre kommen.	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	7 Maßnahmen notwendig
Brände/Explosionen; Explosionsfähige Atmosphäre (Pulverschweißen)	Wird beim Absaugen des Pulvers ein herkömmlicher Staubsauger verwendet kann es zu einem Funken kommen welcher eine Explosion auslöst.	Sehr hoch Wird der falsche Staubsauger verwendet, löst dieser irgendwann mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Explosion aus	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden Tod Eine Explosion kann tödlich enden	10 Maßnahmen unabdingbar