

3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für die Marktüberwachung

Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder¹, Dr.-Ing. Katrin Höhn¹,
Dipl.-Ing. Inga-Lisa Hilgers¹, RA Burkhard Meyer², RA Stephan Schreiber²

baua: Fokus

In vielen Städten finden sich Fabrication Laboratories oder MakerSpaces, die der Allgemeinheit 3-D-Drucker im Sinne einer offenen Werkstatt zur Verfügung stellen. Immer mehr Dienstleister wandeln digitale und kundenindividuelle Objektideen auf ihren 3-D-Druckern in physische Objekte um. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von 3-D-Druckern erschließen sich viele neuartige Geschäftsmodelle, die schließlich zu Handlungsfeldern für die Marktüberwachung werden können. Dieser baua: Fokus bietet einen Überblick über typische Druckverfahren und zeigt einzelne Anwendungsszenarien, die schließlich einer rechtliche Bewertung unterzogen werden.

Inhalt

1	Einleitung.....	2
2	Additive Fertigung.....	2
2.1	Ablauf der additiven Fertigung.....	3
2.2	Maschinentypen für die additive Fertigung.....	4
2.3	Additive Fertigungsverfahren.....	5
2.4	Steckbriefe additiver Fertigungsverfahren.....	6
2.5	Normen zu additiver Fertigung.....	18
3	3-D-Drucker und rechtliche Aspekte.....	18
3.1	Produktsicherheitsrecht.....	18
3.2	Spezialgesetzliche Verordnungen gemäß ProdSG, Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.....	20
3.4	Mittels 3-D-Druck hergestellte Produkte.....	23
4	3-D-Druck und Marktüberwachung.....	23
4.1	Betriebsbereiter 3-D-Drucker und vollständige Bausätze für 3-D-Drucker.....	24
4.2	Verwendung von 3-D-Druckern.....	25
4.3	CAD-Datei.....	25
4.4	Druckmaterial.....	26
4.5	Druckerzeugnis.....	26
	Literatur.....	27

¹Technische Universität Dresden, ²Rischbieter Meyer Schreiber Rechtsanwälte Partnerschaft

1 Einleitung

Mit diesen Informationen soll die Marktüberwachung Hinweise zu 3-D-Druckern, 3-D-Druckverfahren und der Problematik, dass ggf. private Verwender von 3-D-Druckern zu Herstellern von Produkten (Druckprodukte und auch selbst gebaute 3-D-Drucker) werden, erhalten.

Als 3-D-Druck wird der Prozess bezeichnet, aus einem dreidimensionalen digitalen Modell ein physisches Objekt herzustellen. Typischerweise wird dafür schichtweise das verwendete Material hinzugefügt. Übergeordnet und vor allem im industriellen Kontext gesehen wird von der additiven Fertigung gesprochen. Bei der additiven Fertigung werden im Gegensatz zu den traditionellen formgebenden Verfahren, wie z. B. dem Gießen, keine zusätzlichen Formwerkzeuge benötigt. Zudem entsteht, anders als bei den subtraktiven Verfahren Fräsen oder Drehen z. B., kein oder nur wenig Materialabfall.

Das erste Verfahren der additiven Fertigung war bereits in den späten 1980er Jahren verfügbar. 1986 wurde das erste Patent für das Stereolithographie-Verfahren ausgestellt, welches durch Charles (Chuck) Hall angemeldet worden war. (Wohlers 2017: 18) Ursprünglich entstand das Verfahren aus dem Bedarf heraus, schnell und kostengünstig Prototypen herzustellen (sog. Rapid Prototyping) und so Bauteile und Produkte auf ihre Eignung hin zu überprüfen. (Lachmayer et al. 2016: 5) In den Anfängen waren die Anlagen groß, teuer und kaum zugänglich für Privatpersonen und Kleinunternehmen. Mit den Jahren wurden jedoch weitere Verfahrensarten der additiven Fertigung patentiert und auf den Markt gebracht. Im Jahr 2009, mit dem Auslauf des Patents für das Strangablageverfahren, erlebte der 3-D-Druck einen regelrechten Hype. (Horsch 2014: 31f.) Grund dafür waren die nun auch für Privatpersonen erschwinglichen Preise für einen 3-D-Drucker. Kurz zuvor war zudem durch das RepRap-Projekt (replicating rapid prototyper) die mediale Aufmerksamkeit auf den 3-D-Druck gelenkt worden. Das 2005 durch den Briten Dr. Adrain Bowyer an der Universität von Bath in Australien gestartete RepRap-Projekt hatte sich zum Ziel gesetzt, einen erschwinglichen 3-D-Drucker, der sich selbst replizieren kann, für die Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen. Dafür wurden die Baupläne des 3-D-Druckers im Sinne des Open-Source Gedankens unter der sogenannten GNU-Lizenz¹ für jeden zugänglich gemacht. Im Mai 2008 war es dann soweit: Der erste RepRap 3-D-Drucker produzierte die Bauteile für die zweite Generation des RepRap 3-D-Druckers. (Fastermann 2012: 41f.)

2 Additive Fertigung

Den additiven Fertigungsverfahren liegt das Schichtbauprinzip zugrunde. Das heißt, die Objekte entstehen Schicht für Schicht durch das Hinzufügen des Baumaterials. Das ermöglicht die Herstellung von komplexen Bauteilgeometrien, wie z. B. organischen Strukturen oder Hohlräumen. Ein Beispiel hierfür ist der in Abb. 1 abgebildete Lampenschirm, welcher eine organische Zellstruktur darstellt und mittels Schmelzschichtverfahren (auch „Fused Layer Modeling“) hergestellt wurde. Mit den traditionellen Fertigungsverfahren lassen sich derartige



Abb. 1 Mittels additiver Fertigung erzeugter Lampenschirm (Design: nervous-system auf www.thingiverse.com)

¹ GNU (von GNU's Not Unix) steht für ein Betriebssystem und vollständig freie Software welche als Sammlung von Software, Anwendungen und Bibliotheken entwickelt wurde. GNU steht unter der sogenannten GNU General Public License. Nähere Informationen unter: www.gnu.org.

Geometrien meist nur schwer oder gar nicht erzeugen. Ein innenliegender Hohlraum ist z. B. beim Fräsen nicht mit dem Werkzeug erreichbar, ohne das Objekt zu zerstören.

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

2.1 Ablauf der additiven Fertigung

Der Ablauf der additiven Fertigung ist unterteilt in die Datenvorbereitung, den eigentlichen Druckprozess und die Nachbearbeitung. (ACATECH 2016: 12 f.) Der Schritt der Datenvorbereitung ist weitestgehend für alle Verfahren von Heim- bis zur industriellen Anwendung identisch.

Datenvorbereitung. Zu Beginn des Fertigungsprozesses 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. Das bedeutet zum einen, dass das Modell als Volumenkörper vorliegen muss, also keine zweidimensionale Zeichnung darstellt, und zum anderen muss es „wasserdicht“ sein. Der zu erzeugende Volumenkörper darf keine Löcher aufweisen, sondern muss als geschlossenes Flächennetz erstellt werden.

Die CAD-Datei bildet die Ausgangsbasis für den 3-D-Druck. Damit aber der 3-D-Drucker die Daten aus dieser CAD-Datei für einen Druck verarbeiten kann, muss der Datensatz in ein Format umgewandelt werden, das auf die Betriebssoftware des Druckers abgestimmt ist. Weit verbreitet dafür ist das Dateiformat „Standard Triangulation Language“ (STL). Der STL-Datensatz beschreibt die Oberfläche von dreidimensionalen Körpern anhand eines Netzes aus Dreiecksfacetten. Alle auf dem Markt befindlichen Maschinen können mit diesem Format angesteuert werden.

In Vorbereitung auf den Druckprozess wird das zu fertigende Objekt virtuell im Bauraum der Maschine positioniert, in Schichten zerlegt (sogenanntes Slicen) und, sofern für den Bauprozess notwendig, werden Stützstrukturen berechnet und eingefügt. Stützstrukturen sind z. B. dann notwendig, wenn Überhänge $> 45^\circ$ erzeugt werden sollen.

Abschließend wird das virtuell in Schichten zerlegte Objekt samt den eingestellten Druckparametern, wie beispielsweise die Temperatur der Extrusionsdüse oder die Druckgeschwindigkeit, in Form des G-Codes an den 3-D-Drucker übertragen und der Druckprozess kann beginnen.

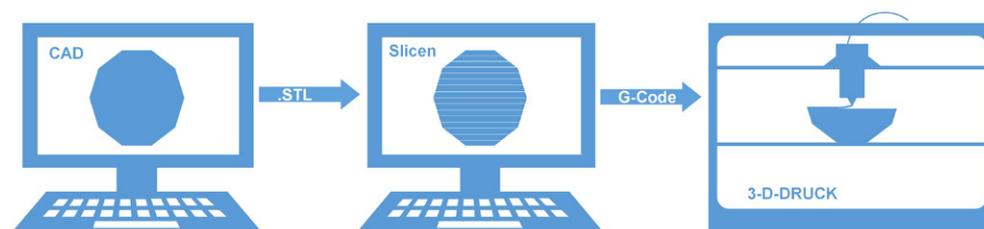


Abb. 2 Allgemeiner Ablauf von der CAD-Datei zum 3-D-Druck

Der Druckprozess stellt den eigentlichen 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. Eine zusammenfassende Übersicht über den allgemeinen Ablauf von der CAD-Datei bis zum 3-D-Druck ist in Abb. 2 dargestellt. Nähere Erläuterungen zu den verschiedenen Verfahrensweisen der additiven Fertigung finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

In der Nachbearbeitung wird das gefertigte Bauteil 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. Beim Infiltrieren wird das poröse Bauteil mit einem weiteren Werkstoff, beispielsweise Epoxidharz, durchsetzt und dadurch versiegelt. Dies führt zu einer Verbesserung der Materialeigenschaften. Abhängig von der Verwendung des gefertigten Bauteils wird dieses z. B. am Verwendungsort montiert oder mit weiteren Bauteilen assembliert.

2.2 Maschinentypen für die additive Fertigung

Allgemein können die Geräte bzw. 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: 17)

Sogenannte Fabber werden im privaten Bereich, besonders der Maker-Szene, genutzt. Es handelt sich dabei meist um Bausätze, aus denen der eigene 3-D-Drucker zusammengesetzt wurde (siehe Abb. 3). Dies ist im Sinne der „Maker“, die ihre Ideen oder Problemlösungen entsprechend dem „Do-It-Yourself“-Gedanken mit eigenen Mitteln und ohne kostspielige Geräte umsetzen. Über Internetforen wird sich über den Bau und mögliche Modifikationen ausgetauscht und es entstehen neue Kooperationsformen. Als Baumaterial finden vorrangig Kunststoffe Verwendung und die erzeugten Objekte können z. B. als Ansichtsmodelle genutzt werden. (Gebhardt 2016: 18)

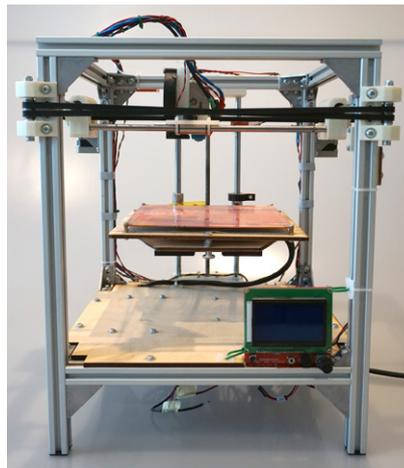


Abb. 3 Beispiel für einen Fabber

Zu den Personal 3-D-Druckern, auch Desktop 3-D-Drucker genannt, werden solche Geräte gezählt, die für unter 5000€ verkauft werden. Sie werden im professionellen und semiprofessionellen Bereich eingesetzt und sind für die Erzeugung von Konzeptmodellen, vorrangig aus Kunststoff, geeignet. Durch ihre kompakte Bauform können sie in Büroumgebungen eingesetzt werden (siehe Abb. 4). Laut Wohlers Report 2017, einer jährlich erscheinenden Studie zur Entwicklung der additiven Fertigung, ist die geschätzte Zahl der verkauften Desktop 3-D-Drucker in den letzten Jahren rapide gestiegen – für das Jahr 2010 wurde ein weltweiter Verkauf von 5 978 Geräten dieser Kategorie geschätzt, für das Jahr 2016 waren es bereits 424 185. (Wohlers 2017: 157)



Abb. 4 Beispiel für einen Personal 3-D-Drucker

Professional 3-D-Drucker sind kompakte und einfach zu bedienende Geräte, die im Vergleich zu den vorher genannten Systemen über eine höhere Qualität der Anlage und der erzeugten Bauteile verfügen. Die Geräte werden zur Herstellung von Konzeptmodellen und Funktionsbauteilen z. B. aus Kunststoff oder Metall genutzt und werden meist in Büro- oder Werkstattumgebungen betrieben (siehe Abb. 5). (Gebhardt 2016: 18)



Abb. 5 Beispiel für einen Professional 3-D-Drucker

Production 3-D-Drucker genannte Maschinen (siehe Abb. 6) haben die Erfüllung hoher Qualitätsansprüche und Reproduzierbarkeit der Prozesse zum Ziel. 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. (Gebhardt 2016: 18f.)



Abb. 6 Beispiel für einen Production 3-D-Drucker

Bei den Industrial 3-D-Drucker (siehe Abb. 7) steht eine gleichbleibende Bauteilqualität sowie eine hohe Produktivität im Vordergrund. Dafür verfügen die Anlagen über Einrichtungen zur Prozessüberwachung und -regelung. Die Anlagen sind zum größten Teil automatisiert und ermöglichen eine hohe Ausbringungsmenge. (Gebhardt 2016: 19)



Abb. 7 Beispiel für einen Industrial 3-D-Drucker

2.3 Additive Fertigungsverfahren

Die verschiedenen additiven Fertigungsverfahren können ausgehend vom Ausgangszustand des verwendeten Materials den sieben, in DIN EN ISO/ASTM 52900:2017-06 (2017: 8) definierten, Prozesskategorien zugeordnet werden (siehe Abb. 8).

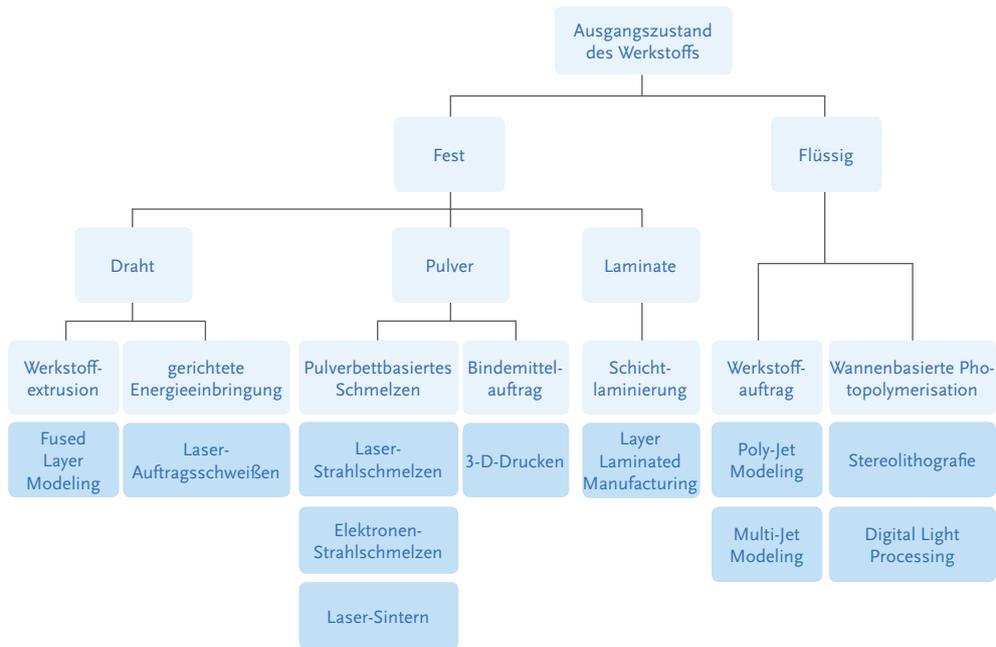


Abb. 8 Unterteilung der additiven Fertigungsverfahren nach Ausgangszustand des Werkstoffs und zugrundeliegender Prozesskategorie

2.4 Steckbriefe additiver Fertigungsverfahren

Nachfolgend werden die verschiedenen Verfahren der additiven Fertigung zusammenfassend in Form von Steckbriefe vorgestellt. Neben der Beschreibung der einzelnen Verfahrensabläufe und der Vorstellung möglicher Anwendungsfelder, werden potenzielle Gefährdungen, die von den verschiedenen additiven Fertigungsverfahren ausgehen können, aufgeführt.

2.4.1 Steckbrief Fused Layer Modeling

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

Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> Auf der in z-Richtung verfahrbaren 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 keine Stützstrukturen, da das umliegende Pulver im Bauraum als Pulverbett eine stützende Funktion übernimmt. Der Druckprozess findet unter Schutzgasatmosphäre, in einer dicht verschlossenen und beheizten Kammer statt.</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 	<ul style="list-style-type: none"> Medizinindustrie (z. B. Prothesen) Automobilindustrie (z. B. Montagehilfen) Spielzeugfiguren, Miniaturmodelle Ersatzteile Modelle für Funktionstests

Drucker	Potenzielle Gefährdungen				
<table border="1"> <tr> <td>Maschinentypen</td> <td>Desktop 3-D-Drucker</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> Fabber Desktop 3-D-Drucker Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker </td> <td> </td> </tr> </table>	Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> Fabber Desktop 3-D-Drucker Professional 3-D-Drucker Production 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 Kunststoffe Brandgefahr durch Softwarefehler Gefahr durch Kurzschluss/Kabelbrand
Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker				
<ul style="list-style-type: none"> Fabber Desktop 3-D-Drucker Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker 					

2.4.2 Steckbrief Laserauftragsschweißen

Laserauftragsschweißen	
	<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 Baufläche 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 	<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

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
Professional 3-D-Drucker		
Production 3-D-Drucker		

2.4.3 Steckbrief Laser-Strahlschmelzen

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

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 Pulvorrat 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 keine Stützstrukturen, da das umliegende Pulver im Bauraum als Pulverbett eine stützende Funktion übernimmt. 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 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"> • Kleinserienfertigung von Leichtbauteilen 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Implantat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Leichtbauteile für Luft- und Raumfahrt • Implantate der Medizintechnik • Urmodell für Vakuumguss • Schmuck • technische Bauteile 	Implantat	
Implantat			

Drucker	Potenzielle Gefährdungen				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Maschinentypen</th> <th>Industrial 3-D-Drucker</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Maschinentypen	Industrial 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 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 • inhalative/dermale Exposition gegenüber Kleinstpartikeln
Maschinentypen	Industrial 3-D-Drucker				
<ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 					

2.4.4 Steckbrief Elektronen-Strahlschmelzen

Elektronenstrahlschmelzen		
	Synonyme:	Electron Beam Melting®, Selektives Elektronenstrahlschmelzen
	Kategorie:	Pulverbettbasiertes Schmelzen
	Kurzbeschreibung:	Im bauraum befindliche Pulverartikel werden schichtweise durch einen Elektronenstrahl punktuell aufgeschmolzen und dadurch mit den umliegenden Pulverpartikeln verbunden
	Markteinführung:	2004
Verfahren		
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrbaren 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 keine Stützstrukturen, da das umliegende Pulver im Bauraum als Pulverbett eine stützende Funktion übernimmt. 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 • Tiitanlegierungen • 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	Industrial 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 • elektromagnetisches Feld • inhalative/dermale Exposition gegenüber Kleinstpartikeln
<ul style="list-style-type: none"> • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 		

2.4.5 Steckbrief Laser-Sintern

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

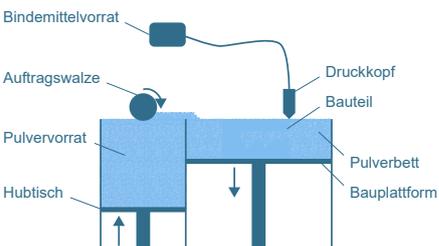
Verfahren	
<ul style="list-style-type: none"> • Auf der in z-Richtung verfahrbaren Bauplattform befindet sich eine erste Schicht des pulverförmigen Baumaterials. • Mittels Laserstrahl, der über ein Scanner-Spiegel-System umgelenkt wird, werden die Pulverpartikel der Materialschicht entlang der x- und 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 	<p>Architekturmodell</p> <p>Foto mit freundlicher Genehmigung zur Verfügung gestellt von www.jdconcepts.de</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muster für Werkzeugbau • Urmodell für Vakuumguss • Medizintechnikprodukte • Leichtbauteile für die Luft- und Raumfahrt • Endprodukte • Designstudien

Drucker	Potenzielle Gefährdungen	
<p>Maschinentypen</p> <p>Industrial 3-D-Drucker</p>	<p>Professional 3-D-Drucker</p> <p>Production 3-D-Drucker</p> <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 • Umgang mit Gefahrstoffen (z. B. Harze zur Infiltrierung)

2.4.6 Steckbrief 3-D-Drucken

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

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 • Funktionsprototyp • Rapid Tooling <ul style="list-style-type: none"> • Formen und Kerne für Gussanwendungen 	<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)



Drucker		Potenzielle Gefährdungen
Maschinentypen	Professional 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 • 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
<ul style="list-style-type: none"> • Professional 3-D-Drucker • Production 3-D-Drucker • Industrial 3-D-Drucker 		

2.4.7 Steckbrief Layer Laminated Manufacturing

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

Verfahren

- Auf der in z-Richtung verfahrbaren Bauplattform befindet sich eine erste Schicht der vorgefertigten Folie.
- Mittels eines in x- und y-Richtung verfahrbaren 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.

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.

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Papierlamine • Kunststofflamine • Metalllamine • Keramicklamine 	<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 	Prototyp	<ul style="list-style-type: none"> • Architektur- und Landschaftsmodelle • Designmodelle • (farbige) Anschauungsmodelle • (farbige) Prototypen • Skulpturen

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 Lamine • 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 		

2.4.8 Steckbrief Poly-Jet Modeling

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

Verfahren

- 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.
- 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.

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Kunststoff <ul style="list-style-type: none"> • Photopolymere <ul style="list-style-type: none"> • 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 		

2.4.9 Steckbrief Multi-Jet Modeling

Layer Laminated Manufacturing (LLM)		
	Synonyme: Thermojet Modeling, Thermojet Printer, Inkjet Printing	Kategorie: Werkstoffauftrag
	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.	Markteinführung: 2014
Verfahren		
<ul style="list-style-type: none"> Das Baumaterial wird in einem beheizten Materialbehältern 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 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"> Kunststoff <ul style="list-style-type: none"> Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) Polycarbonat (PC) Wachs 	<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 verwendetem 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"> 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 	

2.4.10 Steckbrief Stereolithografie

Stereolithografie (STL)		
	Synonyme:	UV-Stereolithografie, Polymerdrucken, Laser-Stereolithografie
	Kategorie:	Wannenbasierte Photopolymerisation
	Kurzbeschreibung:	In einer Wanne befindliches photosensitives Baumaterial wird schichtweise durch die punktuelle Belichtung mit einem UV-Laser ausgehärtet.
	Markteinführung:	1987

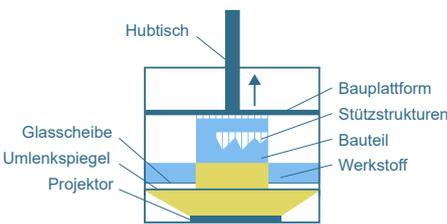
Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> Zu Beginn des Fertigungsprozesses befindet sich die Bauplatte genau eine Schichtdicke unterhalb der Oberfläche des flüssigen Photopolymers. Der Laserstrahl zum Aushärten des Materials wird entlang der x-y-Achsen über ein Scanner-Spiegel-System bewegt. Entsprechend der Vorgaben aus der CAD-Datei wird der Bauteilquerschnitt mit dem Laserstrahl abgefahren und das flüssige Photopolymer dadurch augenblicklich ausgehärtet. Anschließend wird die Bauplatte 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 Fertigstellungsvorgang entfernt werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> flüssiges Photopolymer (Anreicherung mit weiteren Materialien möglich) 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 <ul style="list-style-type: none"> präzise Formwerkzeuge 	<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 Ohreinpasselemente (für Hörgeräte) Dentaltechnik Modelle für die Schmuckindustrie Urmodell für Nachfolgeprozess Design- und Anschauungsmodelle </div> </div>

Drucker	Potenzielle Gefährdungen				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Maschinentypen</th> <th>Desktop 3-D-Drucker</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> Desktop 3-D-Drucker Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker Industrial 3-D-Drucker </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker	<ul style="list-style-type: none"> Desktop 3-D-Drucker Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker Industrial 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
Maschinentypen	Desktop 3-D-Drucker				
<ul style="list-style-type: none"> Desktop 3-D-Drucker Professional 3-D-Drucker Production 3-D-Drucker Industrial 3-D-Drucker 					

2.4.11 Steckbrief Digital Light Processing

3-D-Drucken		
	Synonyme:	UV-Flächenbelichtungsverfahren Lampen-Masken-Verfahren
	Kategorie:	Wannenbasierte Photopolymerisation
	Kurzbeschreibung:	In einer Wanne befindliches photosensitives Baumaterial wird schichtweise durch flächige Belichtung entsprechend der vorgesehenen Bauteilkontur mit einem DLP-Projektor ausgehärtet
	Markteinführung:	2002

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 Mikrosiegeln ermöglicht die flächige Projektion. • Anschließend wird die Bauplattform mit dem teilfertigen Bauteil um eine Schichtdicke aus dem Harzbad herausgehoben 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 Fertigungsverfahren entfernt werden.</p>

Werkstoffe	Nachbearbeitungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> • flüssiges Photopolymer • 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 • Modelle mit feinen Details • Passform-Modelle • Rapid Tooling • Urmodelle für Folgeprozesse • Rapid Manufacturing • Funktionsteile 	<p>Miniaturnmodelle</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Bio-Manufacturing • chirurgische Modelle • Ohreinpassenelemente (für Hörgeräte) • Dentaltechnik • Modelle für die Schmuckindustrie • Nachbildung archäologischer Funde • Design- und Anschauungsmodelle

Drucker	Potenzielle Gefährdungen
<p>Maschinentypen</p> <p>Desktop 3-D-Drucker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabber • Desktop 3-D-Drucker • Professional 3-D-Drucker  <p>roland.creativetools.se</p>	<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

2.5 Normen zu additiver Fertigung

Seit einigen Jahren gibt es auf internationaler Ebene Bemühungen um die Schaffung einheitlicher technischer Normen auf dem Gebiet der additiven Fertigung. Maßgeblich daran beteiligt sind die American Society for Testing and Materials (ASTM). Diese gründete im Jahr 2009 das „Committee F42 on Additive Manufacturing“, welches wiederum in verschiedene Untersuchungsausschüsse untergliedert ist (z. B. Terminologie oder Testmethoden). Im Jahr 2013 wurde durch ASTM und die International Organization for Standardization (ISO) als gemeinsame Basis für das Vorantreiben der Normungsarbeit ein Normungsplan erstellt. Die ersten gemeinsam anerkannten Normen aus den verschiedenen Themenbereichen sind nachfolgend aufgeführt:

Design

- ISO/ASTM 52915:2016-02: Spezifikation für Additive Manufacturing File Format (AMF) Version 1.2
- ISO/ASTM 52910:2018-07: Standardverfahren – Richtlinie zur Konstruktion bei Additiver Fertigung

Materialien und Prozesse

- ISO/ASTM 52901:2017-08: Additive Fertigung – Grundlagen – Anforderungen an die Beschaffung von additiv gefertigten Bauteilen

Terminologie

- DIN EN ISO/ASTM 52900:2017-06: Additive Fertigung – Grundlagen – Terminologie (ISO/ASTM 52900:2015); Deutsche Fassung EN ISO/ASTM 52900:2017

Test Methoden

- ISO/ASTM 52921:2017-01: Normbegrifflichkeiten für die Additive Fertigung – Koordinatensysteme und Prüfmethodologien (ISO/ASTM 52921:2013); Deutsche Fassung EN ISO/ASTM 52921:2016

Auf nationaler Ebene werden durch den VDI e.V. mit dem FA105 – Fachausschuss Additive Manufacturing und den darin aufgehenden Unterausschüssen die Arbeiten an der Richtlinie VDI 3405:2014-12: Additive Fertigungsverfahren – Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen und den darauf aufbauenden Erweiterungen (z. B. VDI 3405 Blatt 1:2013-10: Additive Fertigungsverfahren, Rapid Manufacturing – Laser-Sintern von Kunststoffbauteilen – Güteüberwachung) vorangetrieben (VDI 2018).

3 3-D-Drucker und rechtliche Aspekte

3-D-Drucker selbst sind Maschinen und unterliegen damit dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und es können mit ihnen auch wiederum Produkte hergestellt die ggf. auch die Anforderungen des ProdSG erfüllen müssen. Bei der Verwendung der 3-D-Drucker spielt ggf. der Arbeitsschutz eine Rolle. Nachfolgend werden deshalb die rechtlichen Aspekte bezüglich der 3-D-Drucker selbst und ihrer Verwendung beleuchtet.

3.1 Produktsicherheitsrecht

Wesentlich ist die Beachtung der Vorschriften aus dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG). Dieses ist anzuwenden, wenn gemäß § 1 ProdSG eine Bereitstellung, Ausstellung oder erstmalige Verwendung von 3-D-Druckern erfolgt. Gleiches gilt, wenn mittels 3-D-Druck Produkte hergestellt und im Rahmen einer Geschäftstätigkeit vertrieben werden und somit am Markt bereitgestellt werden.

Die rechtliche Regelung des ProdSG unterscheidet dabei nicht zwischen Verbrauchern als privaten Verwendern von 3-D-Druckern und Wirtschaftsakteuren als gewerblichen Verwendern, sondern nach der „Bereitstellung am Markt“, die „im Rahmen einer Geschäftstätigkeit“ erfolgt. Dann sind bei 3-D-Druckern, Bausätzen für 3-D-Drucker und bei den einzelnen Bauteilen der 3-D-Drucktechnik das ProdSG und die dazugehörigen spezialgesetzlichen Verordnungen einschlägig.

Vom Anwendungsbereich her erfasst das Gesetz alle Produkte, d. h. Verbraucherprodukte ebenso wie Produkte zur gewerblichen Nutzung, verwendungsfähige Endprodukte, aber auch alle dazugehörigen selbst noch nicht verwendungsfähigen Zuliefererprodukte. Umstritten ist, ob auch Druckvorlagen, Software und Scans Produkte i. S. d. ProdSG sind, jedenfalls solange diese nicht „in verkörperter Form“ vorliegen, also zum Beispiel gespeichert auf einem Datenträger. Bei einer Software ohne Datenträger, handelt es sich danach nicht um ein Produkt im Sinne der Vorschriften.

Auch die Einfuhr von Waren in die Europäische Union zum weiteren Verkauf ist ein „Bereitstellen auf dem Markt“, dies steht dem Inverkehrbringen gleich. Eine Geschäftstätigkeit liegt regelmäßig bereits vor, wenn erste Produkte auf dem Markt vertrieben werden, z. B. auch, wenn von einem privaten Bastler hergestellte 3-D-Drucker über dessen Webseite geschäftsmäßig verkauft werden. Das ProdSG gilt auch für alle 3-D-Druckmaterialien und Stoffe, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind, und rund um den 3-D-Druck verwendet werden. Nur auf Antiquitäten oder gebrauchte Produkte, die wiederaufgearbeitet werden, findet das ProdSG keine Anwendung.

„Bereitstellung“ im Sinne des ProdSG bedeutet, dass eine entgeltliche oder 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 ProdSG im Rahmen einer „Geschäftstätigkeit“ erfolgen, wobei aus Schutzinteressen „Geschäftstätigkeit“ i. S. d. Produktsicherheitsrechts weit auszulegen ist.

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).

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

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. Es muss nicht nur die vom Hersteller für den Verwender des Produkts vorzugebende bestimmungsgemäße Verwendung nach dem Stand der Technik sicher sein. Den Hersteller trifft auch die Pflicht, vorhersehbare Verwendung, d. h. naheliegende Fehlanwendungen, bei der Gestaltung des Produkts zur sicheren Verwendung zu berücksichtigen.

Den Hersteller treffen nach ProdSG Instruktionspflichten, wie beispielsweise Montage , Aufstellhinweise, Gebrauchs-, Betriebsanleitungen und Sicherheitsdatenblätter. 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.

3.2 Spezialgesetzliche Verordnungen gemäß ProdSG, Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

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

Hierzu gehört beispielsweise die CE-Kennzeichnung, für die ein Hersteller verantwortlich ist und bei der er durch eine Konformitätserklärung bestätigt, dass beim vertriebenen Produkt die europäischen Harmonisierungsnormen beachtet wurden. Die gleiche Pflicht trifft den Einführer von Produkten in den Europäischen Wirtschaftsraum (EWR). Diese sind regelmäßig die Ansprechpartner bzw. Adressaten von Verfügungen und Auskunftersuchen der Marktüberwachungsbehörden.

Für 3-D-Drucker und komplette Bausätze von 3-D-Druckern ist insbesondere als Harmonisierungsvorschrift die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (MRL), als 9. ProdSV in nationales Recht umgesetzt, zu nennen. 3-D-Drucker und komplette Bausätze dafür sind Maschinen im Sinne der MRL. Auch sind 3-D-Drucker oder vollständige 3-D-Druckbausätze nicht vom Anwendungsbereich der MRL (Art. 1 Abs. 2 k) als elektrische oder elektronische Erzeugnisse ausgenommen, da es sich auch nicht um eine gewöhnliche Büromaschine gemäß MRL handelt.

Fehlerhaft ist die Einordnung von 3-D-Druckern unter die Niederspannungsrichtlinie (NSR), als 1. ProdSV in deutsches Recht umgesetzt. Es liegt auch kein Ausnahmetatbestand gemäß Art. 1 (2) MRL zugunsten der NSR 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 erfasst neben dem Inverkehrbringen in Art. 4 Abs. 1 ausdrücklich auch die Herstellung einer Maschine zum Eigengebrauch (...“in Betrieb genommen...“), sodass auch der für eine geschäftsmäßige Nutzung 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.

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 daher als besonders schutzwürdig – im Vergleich zu professionellen Verwendern – behandelt werden müssen.

Für den Fall der Herstellung von 3-D-Druckern und der mit 3-D-Druckern hergestellten Produkte ist daher vorrangiges spezielles Recht und Rechtsverordnungen, insbesondere die Anwendung der einschlägigen Verordnungen zum ProdSG, also die verschiedenen ProdSV, grundsätzlich zu prüfen.

Zu beachten ist bei der 3-D-Drucktechnik regelmäßig auch die Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit 2014/30/EU vom 26. Februar 2014 (EMV), in Deutschland umgesetzt als EMV-Gesetz.

Die Restriction of the use of certain Hazardous Substances-Richtlinie 2011/65/EU (RoHS) dient der Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, auch sie kann hier einschlägig sein bei der 3-D-Drucktechnik und wurde durch die Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung in nationales Recht umgesetzt.

Die Waste of Electrical and Electronic Equipment-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE) 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.

Rechtliche Verpflichtungen können sich beispielsweise auch aus der Richtlinie 2014/34/EU (ATEX) wegen des Risikos der Entwicklung von explosionsgefährlicher Atmosphären bei der Verwendung von staubigen Pulvern als Druckmaterialien ergeben. Die Richtlinie wurde durch die Explosionsschutzprodukteverordnung (11. ProdSV) in nationales Recht umgesetzt. Darüber hinaus kommt bei selbst aus chemischen Stoffen zusammengestellten Druckmaterialien (Pulvern) auch die Anwendung der Europäischen Chemikalienverordnung 2006/1907/EG (REACH) in Betracht.

Allgemeine Vorschriften zur Betriebssicherheit, wie die Verpflichtungen aus dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) finden darüber hinaus für Wirtschaftsakteure regelmäßig im betrieblichen Alltag rund um die 3-D-Drucktechnik Anwendung.

Werden Verbraucherprodukte hergestellt, so bestehen nach § 6 ProdSG zusätzliche Anforderungen im Rahmen der Bereitstellung am Markt. Dazu gehören insbesondere: Produkt-Kennzeichnung, Name und Kontaktanschrift des Herstellers, Stichprobenentnahmen im Rahmen der Produktbeobachtung, Führung eines Beschwerdebuches im Rahmen der Produktbeobachtung, Rückrufvorsorge durch die Händler, Benachrichtigungspflicht gegenüber Aufsichtsbehörden bei gefährlichen Produkten sowie eine Krisenmanagementpflicht.

Bei der Beurteilung, ob Druckvorlagen, Software und Scans bereits als Produkte i. S. d. ProdSG zu definieren sind, gibt es keine Klarheit. Software ist jedenfalls ein Produkt i. S. d. ProdSG, wenn es „in verkörperter Form“ vorliegt, also zum Beispiel als Datenträger. Haftungsrechtlich grenzt § 2 ProdHaftG Produkte als bewegliche Sachen und damit körperlich

abgrenzbare Dinge ab. Anders kann es für Scans oder Druckvorlagen aussehen, wenn sie nicht auf einem Datenträger gespeichert sind. Die reinen Daten verfügen nicht über die vom ProdSG geforderte Verkörperung und sind daher keine Produkte im Sinne des ProdSG, was allerdings immer noch umstritten ist.

Nach dem ProdSG sind „Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind“ Produkte i. S. d. ProdSG. Druck-Materialien und Druck-Stoffe, um den 3-D-Druck überhaupt ausführen zu können und sämtliche Zubehörteile sind daher als Produkte erfasst.

3.3 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 fehlerhafter, für die vorhersehbare Verwendung nicht sicherer 3-D-Drucktechnik 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 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.

Die Regelung in § 27 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 Bereitsteller bzw. Plattformbetreiber nicht verkörperter Druckvorlagen können danach Adressaten von behördlichen Maßnahmen sein, wenn ernste Gefahren auftreten, weil eine Druckvorlage fehlerhaft war, was sich im späteren Produkt zeigte.

Die Marktüberwachungsbehörden treffen gem. § 26 ProdSG die erforderlichen Maßnahmen bei „begründetem Verdacht“, wenn ein Produkt nicht die rechtlichen Anforderungen erfüllt und haben insbesondere folgende Befugnisse:

- Untersagung der Ausstellung eines Produkts
- Probenentnahme
- Anordnung der Prüfung durch eine notifizierte Stelle
- vorläufiges Bereitstellungsverbot für die Dauer der Prüfung
- Anordnung verständlicher Warn- und Sicherheitshinweisen am Produkt und / oder in der Betriebsanleitung
- Bereitstellungs- oder Vertriebsverbot
- Anordnung einer Rücknahme oder eines Rückrufs
- Anordnung zur Vernichtung
- Anordnung der Warnung der Öffentlichkeit
- Festsetzung von Bußgeldern bis 100.000,00 EUR.

Dazu kommen mögliche Maßnahmen der Polizei- und Ordnungsbehörden aus Generalklauseln, insbesondere bei Gefahr im Verzug.

3.4 Mittels 3-D-Druck hergestellte Produkte

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

Besondere Risiken bei der Verwendung dieser neueren Technologie ergeben sich aus dem Umstand, dass auch derjenige sehr leicht zum „Hersteller“ werden kann, der lediglich einen 3-D-Drucker, eine Druckvorlage und Druckmaterial besitzt. Der selbst aber über kein weitergehendes Knowhow über den Druckprozess, die Qualität des gedruckten Produkts und die für das Produkt existierenden sicherheitsrechtlichen Gesetze, Normen, Regeln und Standards verfügt. Der insbesondere auch nicht mit dem konkreten Gefährdungspotential des gedruckten Produkts ausreichend vertraut ist. D. h. ein Verwender eines 3-D-Druckers kann schnell zum Hersteller von Produkten werden, ohne das hierfür erforderliche Hersteller-Knowhow zu besitzen.

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.

Ergeben sich aus produktspezifischen Rechtsvorschriften oder bestimmten Gefährdungsbereichen zusätzliche Sonderpflichten, ist stets das speziellere Recht vorrangig zu beachten. Gründe zum Tätigwerden für verschiedene Überwachungsbehörden können sich zudem aus Sonderrecht ergeben. Bei der 3-D-Drucktechnik können u. a. folgende spezielle Rechtsbereiche und die dazugehörigen Rechtsnormen in Betracht kommen:

- Waffenrecht,
- Medizinprodukterecht,
- Lebensmittelbedarfsgegenständerecht,
- Bauprodukterecht,
- Spielzeugsicherheitsrechte
- und weitere zum ProdSG erlassene Produktsicherheitsverordnungen.

4 3-D-Druck und Marktüberwachung

In jeder größeren Stadt gibt es inzwischen sogenannte FabLabs (Fabrication Laboratory) oder MakerSpaces, die verschiedene Geräte, wie z. B. 3-D-Drucker oder Laser Cutter, der Allgemeinheit im Sinne einer offenen Werkstatt zur Verfügung stellen. So soll jeder seine Ideen durch die zur Verfügung gestellten Werkzeuge in die Tat umsetzen können. Zudem gibt es eine zunehmende Zahl an Dienstleistern, die die eigens entworfenen digitalen Objektideen auf ihren 3-D-Druckern in ein physisches Objekt umwandeln. Für die Erstellung der digitalen Druckvorlage für den 3-D-Druck gibt es Programme, die kostenfrei zur Verfügung stehen und mit den zugehörigen Tutorials auch durch Personen, welche bisher über keine Konstruktionserfahrung verfügen, zu bedienen sind. Im Sinne der offenen Gemeinschaft (community) und deren Leitgedanken „sharing is caring“ wird das erworbene Wissen, z. B. in Form von Bauplänen für 3-D-Drucker oder fertigen Druckvorlagen, im Internet bereitgestellt.

Der jährlich erscheinende Wohlers Report hat für die weltweiten Verkäufe von Desktop 3-D-Druckern für das Jahr 2016 ein Wachstum von 49,4% auf 424 185 Geräte festgestellt. Im Jahr 2015 und 2014 war ein Wachstum von 75,0% bzw. 86,9% verzeichnet worden (Wohlers 2017). Dazu trägt sicherlich auch der Preisverfall dieser Geräte bei, welche inzwischen bereits für unter 500€ erworben werden können.

Durch die steigende Verfügbarkeit der 3-D-Drucker erschließen sich für deren Verwender neue Anwendungsfelder. Die Herstellung von kundenindividuellen Produkten, Ersatzteilen oder im Handel teuer zu erwerbenden Spielfiguren ermöglicht neuartige Geschäftsmodelle. Zudem gibt es verschiedene Internetplattformen, die die für den 3-D-Druck benötigten Druckvorlagen kostenfrei zur Verfügung stellen, sodass keine konstruktiven Fertigkeiten für die Erstellung der Druckvorlage nötig sind.

In der nachfolgenden Abb. 9 sind Handlungsfelder aufgeführt, die im Zusammenhang mit 3-D-Druck auftreten können und für die Marktüberwachung relevant sind.

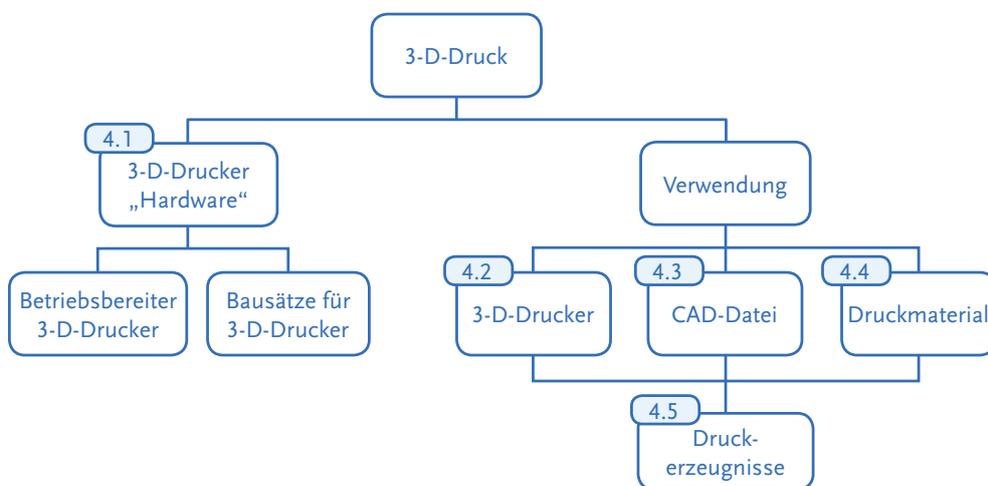


Abb. 9 Handlungsfelder im Zusammenhang mit 3-D-Druck mit Relevanz für die Marktüberwachung

Nachfolgend werden die fünf in der Grafik gekennzeichneten Handlungsfelder beschrieben. Es wird zunächst immer ein Szenario aufgezeigt. Daran schließt sich eine rechtliche Bewertung an.

4.1 Betriebsbereiter 3-D-Drucker und vollständige Bausätze für 3-D-Drucker

Hinsichtlich der rechtlichen Anforderungen ist grundsätzlich nicht wesentlich zu unterscheiden zwischen einem vollständigen Bausatz für einen 3-D-Drucker und einem betriebsbereiten 3-D-Drucker, der am Markt vertrieben wird.

Werden beispielsweise von einem Hersteller oder einem Bastler unter Verwendung mangelhafter Bauteile verschiedenster Anbieter 3-D-Drucker zusammengebaut und diese Geräte anschließend als funktionsfähige 3-D-Drucker verkauft, so treffen diese die gleichen Verpflichtungen und die Marktüberwachungsbehörden können auf Grundlage der o. g. Vorschriften tätig werden.

Hersteller und Bastler treffen – gleich ob privat oder professionell handelnd – dann die gleichen Risiken und Pflichten, wenn ein Verkauf erfolgt, da dann eine Geschäftstätigkeit i. S. d. ProdSG vorliegt.

Bastler, die durch ihr gewerbliches Auftreten am Markt wie Hersteller i. S. d. ProdSG behandelt werden können, haften genau wie diese, wenn durch die von Ihnen hergestellten Produkte ein Schaden verursacht wird, z. B. ein Hausbrand, ausgelöst durch einen unsachgemäß funktionierenden Drucker an dem die Heizdüse defekt ist.

Bei fehlerhaften, für die vorhersehbare Verwendung nicht sicheren 3-D-Druckern gelten ebenfalls die gleichen allgemeinen Grundsätze, dass sich Maßnahmen insbesondere gegen den Betreiber des betreffenden Druckers und auch gegen den Hersteller des nicht rechtskonformen Produkts, aber eben auch gegen andere Beteiligte richten kann. Insbesondere sieht § 27 Abs. 1 ProdSG vor, dass sich Maßnahmen der Marktüberwachungsbehörden auch gegen alle anderen, im ProdSG nicht ausdrücklich adressierten Personen richten können, die nicht unmittelbar, sondern nur indirekt am Bereitstellen auf dem Markt beteiligt sind, beispielsweise Transportunternehmen oder Verbraucher. Stets können auch Maßnahmen der Polizei- und Ordnungsbehörden aus Generalklauseln insbesondere bei Gefahr im Verzug in Betracht kommen.

Hierzu ist lediglich Voraussetzung, dass ein gegenwärtiges ernstes Risiko nicht anders bzw. nicht ausreichend effektiv oder zuverlässig abgewendet werden kann.

4.2 Verwendung von 3-D-Druckern

Ähnlich den herkömmlichen Tintenstrahldruckern gibt es auch bei den 3-D-Druckern Systeme, die keine Nutzung fremder 3-D-Druckmaterialien zulassen. Darüber hinaus gibt es 3-D-Drucker, die zwar Druckmaterialien fremder Hersteller zulassen, jedoch nur mit der herstellereigenen Betriebssoftware genutzt werden können. Damit ist der Verwender des 3-D-Druckers an die Parametereinstellungen und Funktionen dieser Betriebssoftware gebunden. Dies widerspricht dem Open-Source-Gedanken der 3-D-Druck-Bewegung und ist besonders kritisch im Bereich der Sicherheitsfunktionen des 3-D-Druckers. Offene Systeme, also Systeme bei denen der Verwender Einstellungen an der Firmware modifizieren kann, ermöglichen das Einsehen und, sofern nicht vorhanden, das Hinzufügen von Sicherheitsfunktionen. Genauso können vorhandene Sicherheitsfunktionen jedoch auch durch den Verwender deaktiviert werden. Eine Sicherheitsfunktion ist z. B., dass der Drucker sich ausschaltet, wenn keine Temperatur aus dem Druckkopf zurückgemeldet wird. Dies könnte z. B. nach einem Kabelbruch der Fall sein. Das Druckmaterial wird im Druckkopf bei rund 200° C aufgeschmolzen. Eine Überhitzung des Druckkopfes aufgrund mangelnder Rückmeldung an die Software kann neben der Zerstörung des Druckkopfes zu einer erhöhten Brandgefahr führen. Bei geschlossenen Systemen ist nicht einsehbar, ob der 3-D-Drucker über derartige Sicherheitsfunktionen verfügt. Ein nachträgliches Hinzufügen dieser Funktionen ist ebenfalls nicht möglich. Der Verwender eines 3-D-Druckers ist somit angehalten, beim Druckerhersteller in Erfahrung zu bringen über welche Sicherheitsfunktionen der 3-D-Drucker verfügt.

Besonders im Bereich der Fabber und Desktop 3-D-Drucker sind Geräte verfügbar, die über keine trennenden Schutzeinrichtungen verfügen. Das heißt, der sich bewegende Druckkopf mit der heißen Extrusionsdüse ist frei zugänglich. Neben möglichen Quetschstellen ergibt sich daraus vor allem eine Verbrennungsgefahr bei Fehlanwendung.

4.3 CAD-Datei

Für die Marktüberwachung sind im privaten Umfeld hergestellte und verwendete Produkte regelmäßig erst dann relevant, wenn diese geschäftsmäßig vertrieben werden. Wird also über eine Internetplattform eine kostenpflichtige CAD-Vorlage für den 3-D-Druck eines Spielzeugs, z. B. ein Fidget Spinner, heruntergeladen und am privaten 3-D-Drucker das Spielzeug hergestellt, so ist dies außerhalb eines Überwachungsinteresses.

Wird dieses Spielzeug dann aber z. B. bei einer Geburtstagsfeier verwendet und verletzt sich ein Gast an einer scharfen Kante des Spielzeugs, so führt dies regelmäßig zur Verantwortlichkeit und Haftung dessen, der diese Sache zur Verfügung gestellt hat und der den Fehler bzw. Mangel zu vertreten hat. Eine weitere Verantwortlichkeit trifft also auch den, der die kostenpflichtige Vorlage zur Verfügung gestellt hat, wenn der Fehler nicht in der Herstellung, sondern in der CAD-Vorlage liegt.

4.4 Druckmaterial

Hersteller von 3-D-Druckern und Unternehmen, die mit 3-D-Druckern bestimmte Produkte herstellen, haben beim Auftreten von Gefährdungen (z. B. Explosionsgefahren) sowie bei bestimmten Verwendungen (z. B. Herstellung von Lebensmitteln) – aus Gründen der Produkt- und Betriebssicherheit – die entsprechenden rechtlichen Verpflichtungen einzuhalten, was von der zuständigen Überwachungsbehörde durchgesetzt werden kann. Insoweit wird auf die einschlägigen Vorschriften und Richtlinien verwiesen.

Ein beliebtes Druckobjekt sind Ausstechformen. Bei Verwendung gelangen sie in Kontakt mit Lebensmitteln. Daher sollte bereits bei der Auswahl des Druckmaterials darauf geachtet werden, dass von diesem keine Gesundheitsgefahr ausgeht und das Material für die Verwendung mit Lebensmitteln zugelassen ist. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass die 3-D-Erzeugnisse schichtweise aufgebaut sind und dadurch z. T. mit Rillen an der Oberfläche eine ideale Struktur für die Ablagerung von Bakterien darstellen.

4.5 Druckerzeugnis

Entwirft ein Verbraucher als Verwender eines 3-D-Druckers selbst und eigenständig ein Produkt (z. B. Figur für ein Fantasy-Spiel) und druckt dieses an seinem 3-D-Drucker aus Kunststoff-Filament, so stellt er ein Produkt i. S. d. ProdSG her. Verkauft er dieses dann über eine Internetplattform und druckt regelmäßig neue Figuren und verkauft diese, liegt eine „Bereitstellung“ eines „Produktes“ am „Markt“ vor, welche der Marktüberwachung unterliegt. Das Anbieten über eine Internetplattform und der regelmäßig erneut erfolgende Druck ist als „Geschäftstätigkeit“ i. S. d. ProdSG zu bewerten. Ein starkes Indiz für das Vorliegen des Merkmals der „Geschäftstätigkeit“ im Sinne des ProdSG ist stets der entgeltliche Verkauf von Produkten, die durch 3-D-Druck hergestellt worden sind. Deshalb kann unter Umständen auch bereits der erstmalige entgeltliche Verkauf zur Annahme des Anwendungsbereichs des ProdSG und der dazugehörigen Produktsicherheitsverordnungen führen.

Im oben genannten Beispiel ist neben dem ProdSG insbesondere die Spielzeugrichtlinie 2009/48/EG, als 2. ProdSV in nationales Recht umgesetzt, und die dazugehörige harmonisierte Norm EN71 als deren Konkretisierung einschlägig und zu beachten.

Die Spielzeugrichtlinie regelt für Spielzeug, das im Europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht wird einen einzuhaltenden hohen Sicherheitsstandard, insbesondere auch im Hinblick auf das Merkmal der Sicherheit bei allen „vorhersehbare Verwendungen“. Zum Abschluss des vom Hersteller durchzuführenden Konformitätsbewertungsverfahrens muss die CE-Kennzeichnung des Spielzeugs erfolgen. Danach müssen beispielsweise bestimmte Grenzwerte bei potentiell gefährdenden Inhaltsstoffen bei dem hergestellten Produkt eingehalten werden. Wird dann auch noch mit eigens hergestellten Pulvermischungen oder Filamenten die Spielfigur erstellt, wäre ggf. auch noch die REACH-Verordnung (s. o.) für die betreffenden Hersteller zu beachten.

Der Verwender des 3-D-Druckers muss in dieser Situation eine Vielzahl komplexer sicherheitsrelevanter Rechtsnormen und technischer Regeln beachten. Im Streitfall bzw. bei einer behördlichen Kontrolle muss er als Hersteller darüber hinaus durch geeignete Dokumentati-

on, zu der u. a. eine Risikobeurteilung, Validierungsunterlagen und weitere technische Unterlagen gehören, beweisen können, dass er das Spielzeug sicher konstruiert und die Schutzziele der Spielzeugrichtlinie eingehalten hat. Er muss in seiner Dokumentation die verwendeten Stoffe (3-D-Druckmaterialien) deklarieren. 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 gegenüber den Marktüberwachungsbehörden bis hin zu Aufbewahrungspflichten hinsichtlich der gesetzlich geforderten Dokumentation für einen Zeitraum von 10 Jahren nach Herstellung des Spielzeugs.

Alle öffentlich-rechtlichen Verpflichtungen und anwendbaren Richtlinien sind entsprechend auch von ihm zu beachten. In dem obigen Beispiel treffen den Betreiber des Druckers die gleichen Pflichten wie einen gewerblichen Hersteller. Die Marktüberwachung könnte dann auch entsprechend gegenüber allen an der Herstellung und Bereitstellung des Produktes beteiligten Personen tätig werden.

Disclaimer

Wegen der zahlreichen rechtlich zu beachtenden Details und einzelnen Vorschriften wird im Übrigen auf die umfassendere Bewertung im Endbericht des Vorhabens F 2389 verwiesen. Die Informationen sollen als Hilfestellung aufzeigen, welche Themen und Aspekte im Rahmen des 3-D-Drucks für die Marktüberwachung relevant werden können. Aufgrund der in jedem Einzelfall denkbaren einschlägigen Rechtsvorschriften, bedarf jeder Einzelfall gesonderter sachlicher und rechtlicher Bewertung und Prüfung. Die Informationen erheben nicht den Anspruch der Vollständigkeit.

Literatur

ACATECH - DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, Hrsg., 2016. *Additive Fertigung: Stellungnahme*. München. ISBN 978-3-8047-3676-4

BERGER, Uwe, Andreas HARTMANN, Dietmar SCHMID, 2017. *3D-Druck - Additive Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. 2. Auflage. Haain-Grutten: Verlag Europa-Lehrmittel. ISBN 978-3-8085-5034-2

DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG E.V., 2017. *DIN EN ISO/ASTM 52900:2017-06: Additive Fertigung - Grundlagen - Terminologie (ISO/ASTM 52900:2015); Deutsche Fassung EN ISO/ASTM 52900:2017*. Berlin: Beuth, 00.06.2017

FASTERMANN, Petra, 2012. *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. ISBN 978-3-642-29224-8

GEBHARDT, Andreas, 2016. *Additive Fertigungsverfahren: additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion*. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser. ISBN 978-3-446-44401-0

HORSCH, Florian, 2014. *3D-Druck für alle: der Do-it-yourself-Guide*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser. ISBN 978-3-446-44261-0

LACHMAYER, Roland, Rene Bastian LIPPERT, Thomas FAHLBUSCH, 2016. *3D-Druck beleuchtet: Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-49055-6

LÄNDERAUSSCHUSS FÜR ARBEITSSCHUTZ UND SICHERHEITSTECHNIK (LA-SI), Hrsg., 2013. *Leitlinien zum Produktsicherheitsgesetz LV 46. 3. überarbeitete Auflage*. Erfurt: Thüringer Ministerium für Soziales, Familie und Gesundheit, Arbeitsausschuss Marktüberwachung. ISBN 978-3-936415-75-9

VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V., 2014. VDI 3405:2014-12: *Additive Fertigungsverfahren – Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen*. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 00.12.2014

VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V., 2018. *Richtliniendetails*. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., [Zugriff am: 19.02.2018]. Verfügbar unter: https://www.vdi.de/index.php?id=49777&tx_wmdbvdirilisearch_pi1%5brilnr%5d=3405&tx_wmdbvdirilisearch_pi1%5bblattnr%5d=&tx_wmdbvdirilisearch_pi1%5bCMD%5d=redirect&tx_wmdbvdirilisearch_pi1%5bmode%5d=1

WOHLERS, Terry, 2017. *Wohlers report 2017: 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report*. Fort Collins, Colo.: Wohlers Associates, Inc.. ISBN 978-0-9913332-3-3