



# Produktsicherheit beim 3-D-Druck

Tipps für private Verwenderinnen und Verwender

baua: Praxis

# Inhalt

	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<hr/>		
<b>1</b>	<b>Der 3-D-Druck</b>	<b>3</b>
	Aufstieg des 3-D-Drucks	4
	3-D-Druck und Produktsicherheit	5
	Additive Fertigung im Überblick	7
	Steckbriefe der gängigsten Verfahren	8
	Ablauf des 3-D-Drucks	12
<hr/>		
<b>2</b>	<b>Kauf von 3-D-Druckern und Materialien</b>	<b>13</b>
	Sichere 3-D-Drucker	13
	Bausätze für 3-D-Drucker	17
	Druckmaterialien	18
	Checkliste Kauf	20
<hr/>		
<b>3</b>	<b>Sicherheit von Druck und Produkten</b>	<b>21</b>
	3-D-Drucker betreiben	21
	3-D-Drucker in Schulen	22
	Sicherheit der gedruckten Produkte	24
	Checkliste Sicherheit	25
<hr/>		
<b>4</b>	<b>Rechtlicher Rahmen</b>	<b>26</b>
	Wenn private Verwender zum Hersteller werden	27
	Viele Vorschriften am Beispiel einer Fantasyfigur	28
	Pflichten für Wirtschaftsakteure	31
<hr/>		
	<b>Fazit</b>	<b>33</b>
<hr/>		
	<b>Weiterführende Informationen</b>	<b>34</b>
<hr/>		
	<b>Impressum</b>	<b>36</b>
<hr/>		

# Einleitung

In den letzten Jahren hat der 3-D-Druck einen regelrechten Hype erlebt. Ursprünglich in der Industrie eingesetzt, wird er nun auch von vielen privaten Anwenderinnen und Anwendern genutzt. Sie können Drucker maßgeschneidert aus Fertigteilen zusammenbauen, digitale Druckvorlagen bearbeiten und ihre kreativen Ideen dreidimensional ausdrucken.

Doch mit dieser Entwicklung muss auch die Produktsicherheit mithalten. Sie fängt beim Kauf des Gerätes und der Druckmaterialien an. Hierbei lohnt der Blick auf den Hersteller, die Sicherheitsfunktionen des Gerätes und das Typenschild. Nicht alle der angebotenen Druckmaterialien sind für jeden Drucker geeignet. Sie können bei der Verarbeitung gesundheitsgefährdende Dämpfe abgeben.

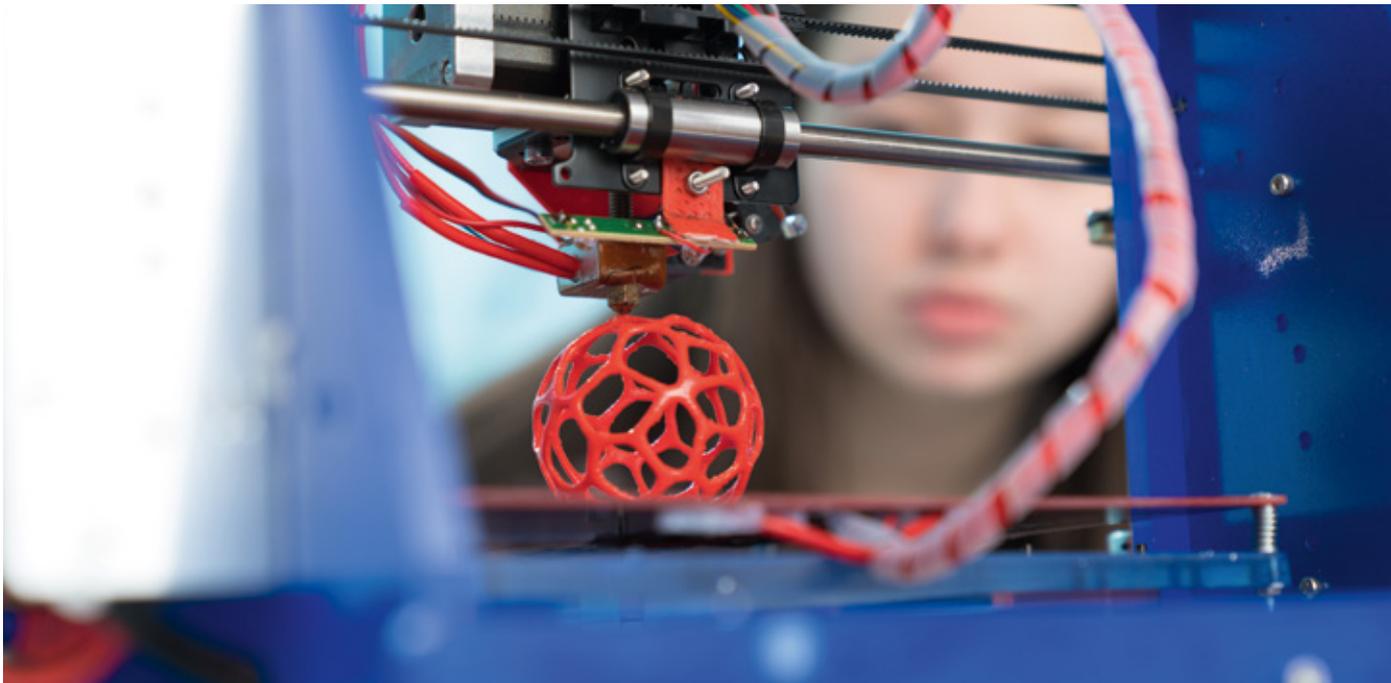
Die Sicherheit und Gesundheit von Personen muss auch im Hinblick auf den Druckvorgang und die gefertigten Produkte berücksichtigt werden. An der heißen Druckerdüse besteht Verbrennungsgefahr, oder Gegenstände können sich entzünden. Auf den Produkten aus Kunststoff lagern sich mitunter Keime ab. Oder sie können schmelzen, wenn sie beispielsweise als Kerzenhalter verwendet werden.

Private Anwenderinnen und Anwender werden zum Hersteller oder Händler, wenn sie Geräte und gedruckte Produkte verkaufen. Damit haben sie, möglicherweise unbeabsichtigt, die Rolle eines Wirtschaftsakteurs eingenommen. Nach dem Produktsicherheitsgesetz und vielen weiteren Vorschriften gelten für sie dann bestimmte Pflichten, um die Produktsicherheit zu gewährleisten.

Diese *baua: Praxis* gibt einen Überblick über die Technik des 3-D-Drucks. Sie erläutert, was für die Sicherheit wichtig ist, wenn Geräte gekauft, betrieben und gedruckte Produkte verwendet werden. Schließlich wird der rechtliche Rahmen behandelt. Ein Beispiel zeigt, welche Verordnungen greifen, wenn eine Nutzerin oder ein Nutzer als Hersteller auftritt.

Der 3-D-Druck ist eine vielversprechende Technik, mit der sich Verbraucherinnen und Verbraucher schöpferisch ausdrücken können. Wenn sie dabei die Produktsicherheit berücksichtigen, steigern sie den Mehrwert für die Sicherheit und Gesundheit von anderen sowie sich selbst.

# Der 3-D-Druck



Beim 3-D-Druck wird aus einem dreidimensionalen, digitalen Modell ein Gegenstand gefertigt. Kennzeichnend dafür ist, dass Material schichtweise aufgetragen wird. Der übergeordnete Begriff dafür ist **additive Fertigung**. Dabei werden im Gegensatz zu traditionellen formgebenden Verfahren, wie etwa dem Gießen, keine zusätzlichen Formwerkzeuge benötigt. Anders als bei subtraktiven Verfahren, wie z. B. dem Fräsen oder Drehen, entsteht dabei nur wenig Materialabfall.

■ Der 3-D-Druck ist eine additive Fertigung, bei der das Material in Schichten aufgetragen wird.

Der additiven Fertigung liegt das Schichtbauprinzip zugrunde. Die Gegenstände entstehen Schicht für Schicht, indem Baumaterial hinzugefügt wird. Das ermöglicht, komplizierte Bauteilgeometrien herzustellen, wie z. B. organische Gebilde oder Hohlräume. Ein Beispiel dafür ist der abgebildete Lampenschirm rechts. Er stellt eine Zellstruktur dar und wurde im Schmelzschichtverfahren, dem Fused Layer Modeling, hergestellt. In traditioneller Fertigung lassen sich diese verzweigten Formen nur sehr schwer herstellen. Beim Fräsen etwa kann ein innenliegender Hohlraum nicht mit dem Werkzeug erreicht werden, ohne das Objekt zu zerstören.



## Aufstieg des 3-D-Drucks

Das erste Verfahren der additiven Fertigung war die Stereolithografie. 1986 erhielt Charles „Chuck“ Hall das erste Patent für dieses Verfahren. Die Idee dafür entstand aus dem Bedarf heraus, schnell und kostengünstig Prototypen herzustellen, das sogenannte Rapid Prototyping. Prototypen sind Versuchsmodelle, die es ermöglichen, Produkte auf ihre Eignung hin zu überprüfen.

Anfangs waren die Geräte zur additiven Fertigung teuer und für Privatpersonen kaum zugänglich. Im Laufe der Jahre wurden jedoch weitere Verfahren patentiert und auf den Markt gebracht. 2009, als das Patent für das Fused Layer Modeling auslief, erlebte der 3-D-Druck einen regelrechten Hype. Grund dafür waren die gesunkenen Preise für 3-D-Drucker, die nun auch für private Nutzerinnen und Nutzer erschwinglich waren.

Kurz zuvor ging zudem das RepRap-Projekt durch die Presse. Die Abkürzung steht für Replicating Rapid Prototyper. Dieses Projekt wurde 2005 von Adrian Bowyer an der Universität von Bath in Australien gestartet. Ziel war es, einen preisgünstigen 3-D-Drucker zur Verfügung zu stellen, der sich selbst kopieren konnte. Dafür wurden die Baupläne des Druckers unter einer freien Lizenz für jeden zugänglich gemacht. Im Mai 2008 war es dann soweit. Der erste RepRap-3-D-Drucker produzierte die Bauteile für die zweite Generation dieses Druckers.



## 3-D-Druck und Produktsicherheit

In jeder größeren Stadt gibt es inzwischen sogenannte **FabLabs**, Fabrication Laboratories, oder MakerSpaces. Sie stellen Privatpersonen in einer offenen Werkstatt verschiedene Geräte zur Verfügung, z. B. 3-D-Drucker oder Laser Cutter. So kann jeder seine kreativen Ideen umsetzen, siehe Abbildung 1. Zudem bieten immer mehr Dienstleister 3-D-Druck an. Um die digitale Druckvorlage zu erstellen, gibt es verschiedene Programme, die zum Teil kostenfrei sind. Video-Tutorials erleichtern den Einstieg in die Programme.

■ FabLabs oder MakerSpaces sind eine offene Werkstatt, in der jeder 3-D-Drucker nutzen kann.

Der Leitgedanke der Community, der offenen Gemeinschaft, ist „sharing is caring“. In diesem Sinne werden Baupläne für 3-D-Drucker oder fertige Druckvorlagen im Internet bereitgestellt. Dadurch wird die Entwicklung des 3-D-Drucks über Ländergrenzen hinweg unterstützt, und jeder kann daran teilhaben.

Schnell und kostengünstig die eigene Produktidee in die Tat umzusetzen und damit vielleicht noch Geld zu verdienen, klingt verlockend. Hobbybastlern, Studierenden sowie Unternehmerinnen und Unternehmern erschließen sich durch den 3-D-Druck neue Möglichkeiten. Befördert wird das durch die vielen verfügbaren Vorlagen, Druckmaterialien und Geräte.

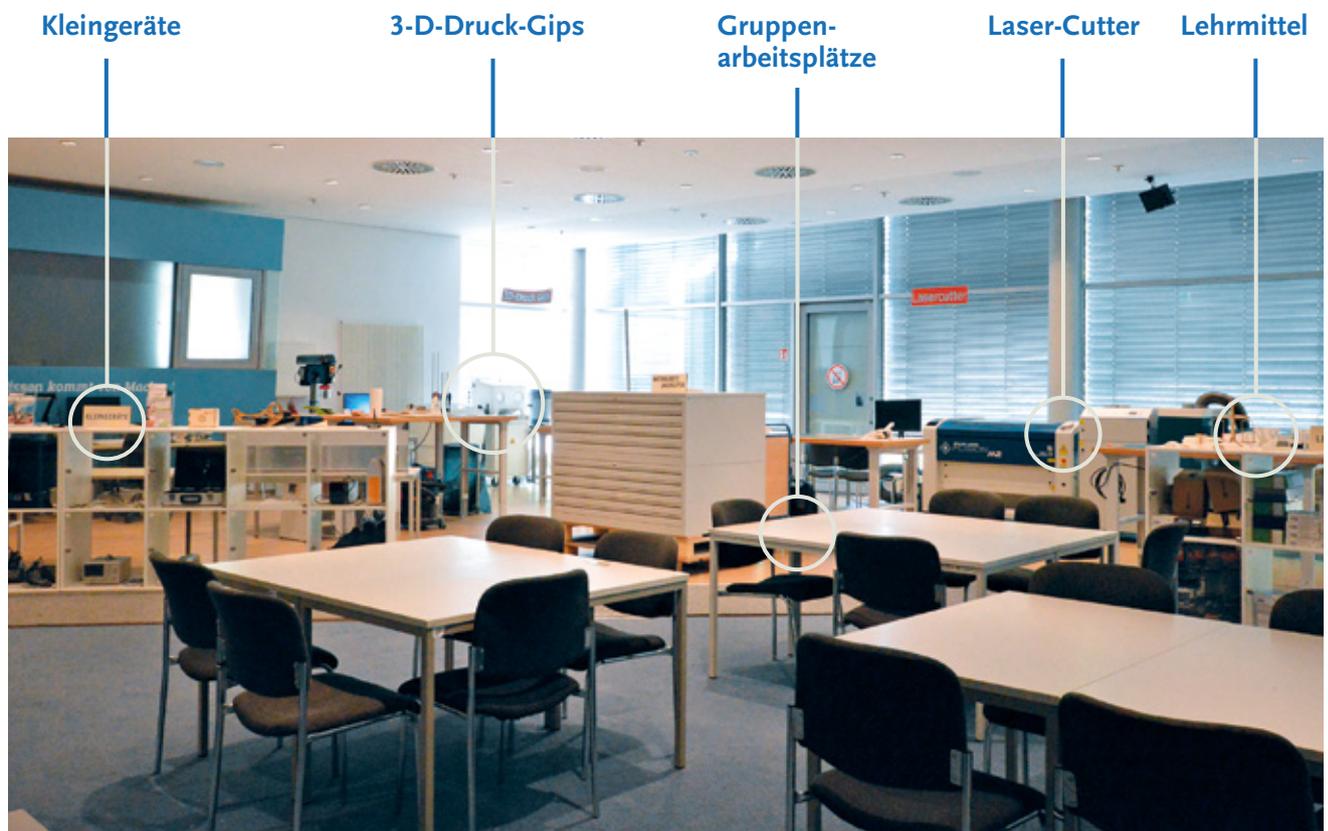


Abb. 1 MakerSpace in der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden.

Werden damit Produkte gewerblich hergestellt, gelten für sie jedoch das **Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)** und ggf. weitere produktsicherheitsrechtliche Vorschriften, siehe Abbildung 2. Damit sind bestimmte Anforderungen einzuhalten. Außerdem sollte ein 3-D-Drucker sicher betrieben werden.

Das Produktsicherheitsgesetz gilt, wenn Produkte im 3-D-Druck gewerblich hergestellt werden.

## Das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)



**Anwendungsbereich.** Das Gesetz gilt, wenn im Rahmen einer Geschäftstätigkeit Produkte auf dem Markt bereitgestellt, ausgestellt oder erstmals verwendet werden: § 1 ProdSG. Produkte sind gemäß § 2 ProdSG Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind.



### Anforderungen an die Bereitstellung von Produkten.

Ein Produkt darf gemäß § 3 ProdSG nur dann auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn es die vorgesehenen Anforderungen erfüllt und die Sicherheit und Gesundheit von Personen oder sonstige Rechtsgüter bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung nicht gefährdet.



### Anforderungen an die Bereitstellung von Verbraucherprodukten.

Wenn ein Produkt für Verbraucher bestimmt ist, hat der Hersteller gemäß § 6 ProdSG bei der Bereitstellung auf dem Markt unter anderem sicherzustellen, dass die Verwenderin oder der Verwender Informationen erhält, um die Risiken, die mit dem Produkt verbunden sind, beurteilen und sich gegen sie schützen zu können. Der Hersteller muss außerdem seinen Namen und seine Kontaktanschrift sowie eindeutige Kennzeichnungen zur Identifikation des Produktes anbringen.

Abb. 2 Anwendungsbereich und Anforderungen des Produktsicherheitsgesetzes.

## Additive Fertigung im Überblick

Die verschiedenen **Verfahren der additiven Fertigung** lassen sich anhand des Werkstoffs und des Fertigungsprozesses unterteilen, siehe Abbildung 3.

Für industrielle Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, etwa für Leichtbauteile, oder der Medizintechnik, z. B. für Implantate, kommen Verfahren des pulverbettbasierten Schmelzens infrage. Dabei werden durch einen Laser- oder Elektronenstrahl Partikel in einem Pulverbett aufgeschmolzen, sodass die gewünschten Bauteile entstehen. Sie haben sehr gute Materialeigenschaften.

Für alle Fertigungsverfahren, die Abbildung 3 zeigt, gibt es hochwertige Anlagen, die für die Industrie ausgelegt sind. Weitere Informationen zu den einzelnen Verfahren und ihren Anwendungsbereichen finden sich z. B. bei Gebhardt (2016) und Fastermann (2016).

Die Verfahren der additiven Fertigung lassen sich danach unterteilen, ob der Werkstoff fest oder flüssig ist und wie die Herstellung abläuft.

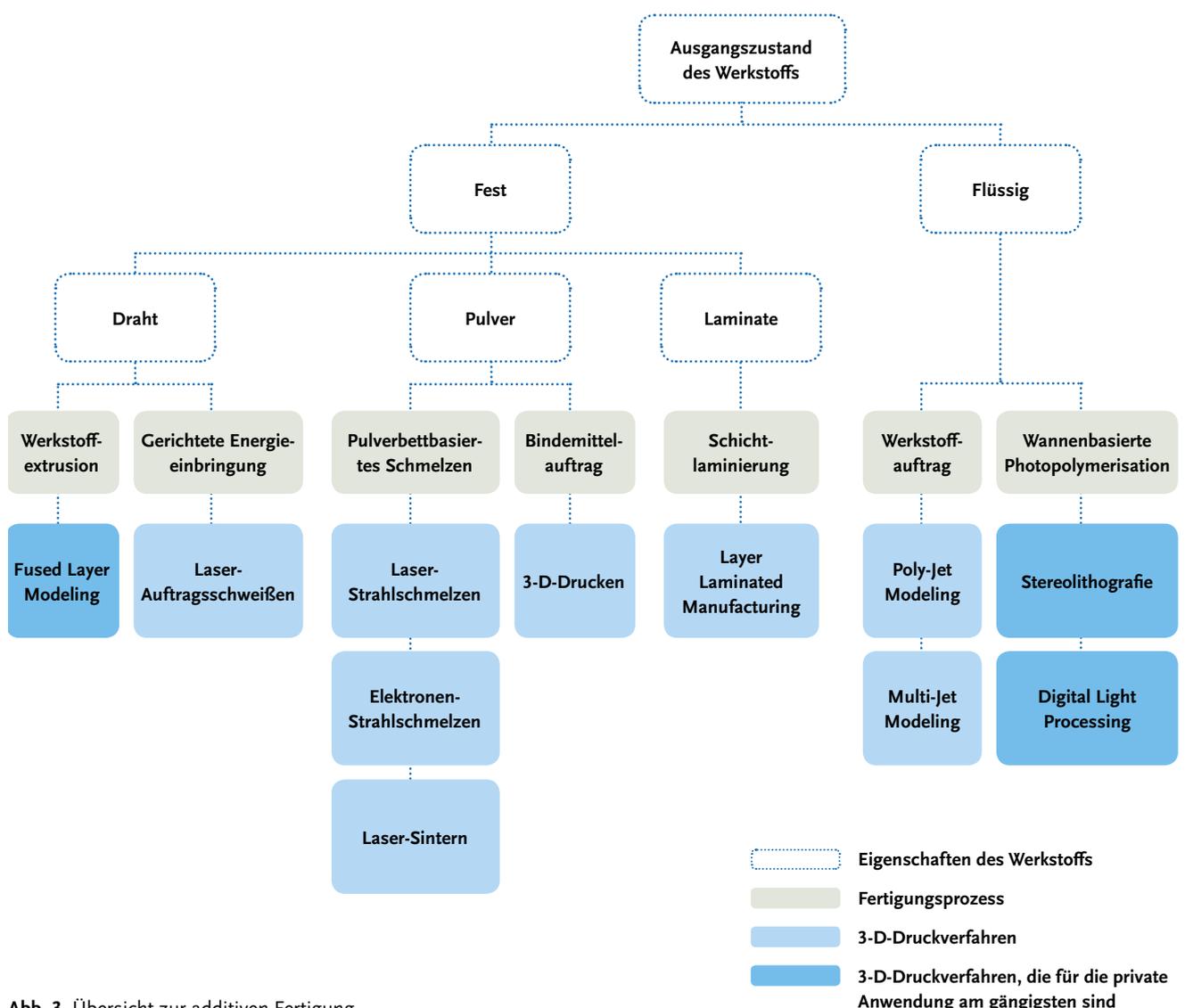


Abb. 3 Übersicht zur additiven Fertigung.

## Steckbriefe der gängigsten Verfahren

Wenn allgemein vom 3-D-Druck die Rede ist, ist üblicherweise das **Fused Layer Modeling** oder Schmelzschichtverfahren gemeint. Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl von 3-D-Druckern, die damit arbeiten. Alle funktionieren nach folgendem Prinzip: Das Druckmaterial in drahtähnlicher Form wird erhitzt und geschmolzen. Eine Düse trägt dann das Material in dünnen Schichten auf, sodass ein Objekt entsteht.

■ Beim Fused Layer Modeling wird Kunststoff geschmolzen und durch eine Düse schichtweise aufgetragen.

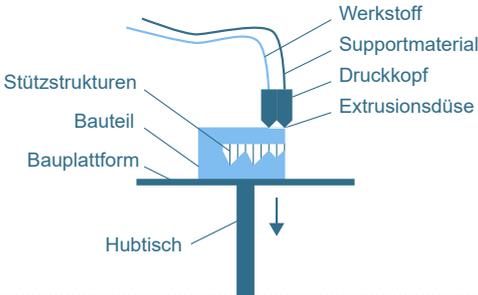
Daneben gibt es beispielsweise zwei Verfahren der wannenbasierten Photopolymerisation, für die ebenfalls Desktopgeräte angeboten werden: die Stereolithografie und das Digital Light Processing. Bei diesen Verfahren wird flüssiges Harz schichtweise durch einen Laser oder Projektor ausgehärtet.

**Fused Layer Modeling, Stereolithografie** und **Digital Light Processing** sind die gängigsten Verfahren für private Anwenderinnen und Anwender. Dazu gibt es 3-D-Drucker und Bausätze. Sie sollen daher mit Steckbriefen kurz vorgestellt werden, siehe Abbildungen 4, 5 und 6 auf den Seiten 9 bis 11. Hierbei werden Verfahren, Werkstoffe, Nachbearbeitung und Anwendung genannt.



Stereolithografie-Drucker und gedruckte orangene Figuren.

## Fused Layer Modeling (FLM)



**Synonyme:** Fused Deposition Modeling (FDM®), Fused Filament Fabrication, Schmelzschichtverfahren, Strangablageverfahren

**Kategorie:** Werkstoffextrusion

**Kurzbeschreibung:** Drahtförmiges Baumaterial wird durch Erhitzung aufgeschmolzen und mit einer beweglichen Extrusionsdüse positionsgenau aufgetragen.

**Markteinführung:** 1990

### Verfahren

- Vorgefertigte, thermoplastische Filamente, der Werkstoff in Drahtform, werden im Druckkopf aufgeschmolzen. Dann werden sie durch eine Extrusionsdüse positionsgenau entsprechend der Bauteilkontur auf die Bauplattform aufgebracht.
- Eine fahrbare Extrusionsdüse (x- und y-Achse) und absenkbare Plattform (z-Achse) oder eine fahrbare Plattform (x- und y-Achse) und anhebbare Extrusionsdüse (z-Achse) ermöglichen es, das Material aufzubringen und das Bauteil aufzubauen.
- Das Material wird schichtweise in vorgegebenen Schichtdicken aufgetragen. Die Wärmeleitung im teilfertigen Bauteil verbindet die Schichten und verfestigt sie.
- Das so entstehende Bauteil benötigt bei komplexen Formen oder Überhängen Stützstrukturen. Diese werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil hergestellt oder durch eine zweite Extrusionsdüse mit besonderem Supportmaterial aufgebracht. Die Stützstrukturen werden nach der Fertigung entfernt.

### Werkstoffe

- Filamente aus Kunststoff:**
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
  - Poly-Lactic-Acid (PLA), auch Polymilchsäure
  - Polycarbonat (PC)
  - Hochleistungskunststoffe

### Nachbearbeitung

- Grundsätzlich ist keine Nachbearbeitung nötig.
- Werden Stützstrukturen verwendet, müssen diese entfernt werden. Das geschieht abhängig vom verwendeten Material mechanisch, z. B. mit einem Seitenschneider, oder wasserlöslich in einer Einrichtung zum Waschen.
- Je nach Einsatzzweck ist eine Reinigung des Bauteils erforderlich.
- Bei Bedarf kann das Bauteil poliert, geschliffen oder beschichtet werden.

### Anwendung

- Rapid Prototyping: Konzeptmodelle, Funktionsprototypen
- Rapid Tooling
- Rapid Manufacturing

### Beispielprodukte

- Medizinindustrie, z. B. Prothesen
- Automobilindustrie, z. B. Montagehilfen
- Spielzeugfiguren, Miniaturmodelle
- Modelle für Funktionstests
- Ersatzteile



Funktionsprototyp

### Drucker

**Maschinentypen:**

- Fabber
- Desktop-3-D-Drucker
- Professional-3-D-Drucker
- Production-3-D-Drucker



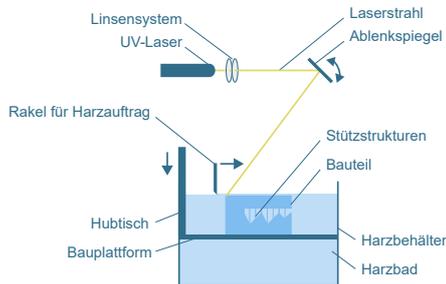
Desktop-3-D-Drucker

### Mögliche Gefährdungen

- gesundheitsschädliche Dämpfe
- heiße Oberflächen an Extrusionsdüse oder beheizte Druckplatte
- bewegte Maschinenteile, Quetschstellen
- scharfe Kanten, wenn Stützstrukturen entfernt werden
- Brandgefahr durch erdölbasierte Kunststoffe
- Brandgefahr durch Softwarefehler
- Gefahr durch Kurzschluss oder Kabelbrand

Abb. 4 Steckbrief zum Fused Layer Modeling.

## Stereolithografie (STL)



**Synonyme:** UV-Stereolithografie, Polymerdrucken, Laser-Stereolithografie

**Kategorie:** Wannenbasierte Photopolymerisation  
**Kurzbeschreibung:** Lichtempfindliches flüssiges Baumaterial, das sich in einer Wanne befindet, wird schichtweise durch flächige Belichtung mit einem Projektor ausgehärtet.

**Markteinführung:** 1987

### Verfahren

- Zu Beginn der Fertigung befindet sich die Bauplattform genau eine Schichtdicke unterhalb der Oberfläche des flüssigen Photopolymers.
- Zum Aushärten des Materials wird der Laserstrahl entlang der x- und y-Achse über ein Scanner-Spiegel-System bewegt. Entsprechend 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. Das flüssige Material oberhalb des Bauteils wird entsprechend der vorgegebenen Schichtdicke genau ausgeglichen.
- Der Laserstrahl härtet die nächste Materialschicht aus. Sie wird dadurch mit der darunterliegenden Schicht verbunden.
- Das so entstehende Bauteil benötigt Stützstrukturen, da beim Drucken im flüssigen Material Überhänge verloren gehen würden. Die Stützstrukturen werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil hergestellt und müssen nach der Fertigung entfernt werden.

### Werkstoffe

**Flüssiges Photopolymer**, das mit weiteren Materialien angereichert werden kann:

- Epoxidharz
- Acrylharz
- Vinylharz

### Nachbearbeitung

- Eine Reinigung mit Lösungsmitteln, z. B. Isopropanol oder Aceton, ist erforderlich.
- Nach der Fertigung härtet das Photopolymer im UV-Ofen vollständig aus.
- Die Stützstrukturen müssen mechanisch entfernt werden, z. B. mit einem Seitenschneider. Abhängig von der Komplexität des Bauteils geschieht dies vor oder nach der Aushärtung im UV-Ofen.
- Eine mechanische Nacharbeit, z. B. Sandstrahlen, kann die Qualität der Oberfläche verbessern. Eine Beschichtung des Bauteils ist ebenfalls möglich.

### Anwendung

- Rapid Prototyping: Modelle mit feinen Details und hoher Genauigkeit, Passform-Modelle und Funktions-Prototypen
- Rapid Tooling
- Rapid Manufacturing

### Beispielprodukte

- Bio-Manufacturing: chirurgische Modelle, Elemente für Hörgeräte, Zahntechnik
- Modelle für die Schmuckindustrie
- Urmodelle für nachfolgende Prozesse
- Design- und Anschauungsmodelle



Designmodell einer Vase

### Drucker

#### Maschinentypen:

- Desktop-3-D-Drucker
- Professional-3-D-Drucker
- Production-3-D-Drucker
- Industrial-3-D-Drucker



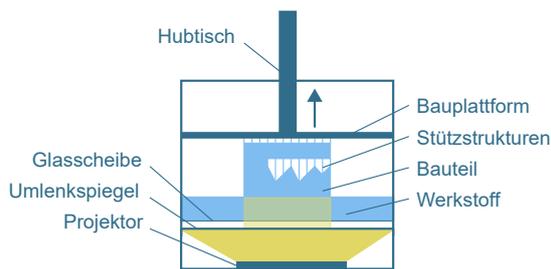
Desktop-3-D-Drucker

### Mögliche Gefährdungen

- UV-Strahlung, Laserstrahlung
- bewegte Maschinenteile
- Hautkontakt mit Gefahrstoffen, z. B. Acrylharz, beim Umgang mit dem Baumaterial, dem gefertigten Bauteil und bei der Reinigung des Druckers oder Bauraums
- Einatmen von Gefahrstoffen: Emissionen der Acrylharze beim Drucken
- Umgang mit Lösungs- und Reinigungsmitteln
- scharfe Kanten, wenn Stützstrukturen entfernt werden

Abb. 5 Steckbrief zur Stereolithografie.

## Digital Light Processing (DLP)



<b>Synonyme:</b>	UV-Flächenbelichtungsverfahren, Lampen-Masken-Verfahren
<b>Kategorie:</b>	Wannenbasierte Photopolymerisation
<b>Kurzbeschreibung:</b>	Lichtempfindliches flüssiges Baumaterial, das sich in einer Wanne befindet, wird schichtweise durch flächige Belichtung mit einem Projektor ausgehärtet.
<b>Markteinführung:</b>	2002

### Verfahren

- Zu Beginn der Fertigung befindet sich im Harzbad zwischen Bauplattform und Glasboden genau eine Schichtdicke des flüssigen Photopolymers.
- Zum Aushärten des Photopolymers wird das UV-Licht durch einen Digital-Light-Processing-Projektor entsprechend dem Querschnitt des Bauteils auf die x-y-Ebene geworfen. Steuerbare kleine Spiegel ermöglichen eine flächige Projektion.
- Anschließend wird die Bauplattform um eine Schichtdicke aus dem Harzbad herausgefahren. Zwischen Glasboden und teilfertigem Bauteil fließt genau eine Schicht des flüssigen Baumaterials nach.
- Mit dem Projektor wird die nächste Materialschicht ausgehärtet. Sie wird dadurch mit der darüberliegenden Schicht verbunden.
- Das so entstehende Bauteil benötigt für eine Verankerung auf der Bauplattform und für Überhänge Stützstrukturen. Sie werden aus dem gleichen Material wie das Bauteil hergestellt und müssen nach der Fertigung entfernt werden.

### Werkstoffe

#### Flüssiges Photopolymer:

- Epoxidharz
- Acrylharz
- Vinylharz

### Nachbearbeitung

- Eine Reinigung mit Lösungsmitteln, z. B. Isopropanol oder Aceton, ist erforderlich.
- Nach der Fertigung härtet das Photopolymer im UV-Ofen vollständig aus.
- Die Stützstrukturen müssen mechanisch entfernt werden, z. B. mit einem Seitenschneider. Abhängig von der Komplexität des Bauteils geschieht dies vor oder nach der Aushärtung im UV-Ofen.
- Eine mechanische Nacharbeit, z. B. Sandstrahlen, kann die Qualität der Oberfläche verbessern.

### Anwendung

- Rapid Prototyping: Modelle mit feinen Details, Passform-Modelle
- Rapid Tooling: Urmodelle für nachfolgende Prozesse
- Rapid Manufacturing: Funktionsteile

### Beispielprodukte

- Bio-Manufacturing: chirurgische Modelle, Elemente für Hörgeräte, Zahntechnik
- Modelle für die Schmuckindustrie
- Nachbildung archäologischer Funde
- Design- und Anschauungsmodelle

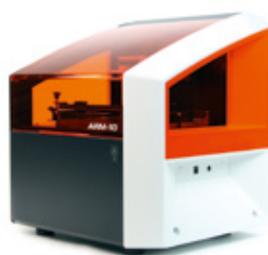


Miniaturmodell

### Drucker

#### Maschinentypen:

- Fabber
- Desktop-3-D-Drucker
- Professional-3-D-Drucker



Desktop-3-D-Drucker

### Mögliche Gefährdungen

- UV-Strahlung, Laserstrahlung
- bewegte Maschinenteile
- Hautkontakt mit Gefahrstoffen, z. B. Acrylharz, beim Umgang mit dem Baumaterial, dem gefertigten Bauteil und bei der Reinigung des Druckers oder Bauraums
- Einatmen von Gefahrstoffen: Emissionen der Acrylharze beim Drucken
- Umgang mit Lösungs- und Reinigungsmitteln
- scharfe Kanten, wenn Stützstrukturen entfernt werden

Abb. 6 Steckbrief zum Digital Light Processing.

## Ablauf des 3-D-Drucks

Bevor ein Gegenstand dreidimensional gedruckt werden kann, muss er als wasserdichter Volumenkörper vorliegen. Er darf also keine Löcher aufweisen, sondern stellt ein geschlossenes Flächennetz dar. Dieses wird am Rechner mit dem sogenannten **Computer-Aided Design (CAD)** erzeugt.

Das Objekt wird am Computer in Schichten zerlegt. Diese Daten werden mit den Druckeinstellungen an den 3-D-Drucker übertragen.

Die CAD-Datei ist die Grundlage für den 3-D-Druck. Damit der 3-D-Drucker die Daten der CAD-Datei für einen Druck verarbeiten kann, muss der Datensatz in ein Format umgewandelt werden, das auf die Software des Druckers abgestimmt ist. Weit verbreitet ist dafür das Dateiformat **Standard Triangulation Language (STL)**. Der STL-Datensatz beschreibt die Oberfläche von dreidimensionalen Körpern durch ein Netz aus Dreiecken.

Das zu druckende Objekt wird zunächst am Computer so ausgerichtet, wie es später im Bauraum gedruckt werden soll. Anschließend wird es durch die Software in **Schichten** zerlegt, das sogenannte Slicen. Falls nötig, werden Stützstrukturen berechnet und eingefügt. Beim Fused Layer Modeling sind beispielsweise Stützen notwendig, wenn Überhänge erzeugt werden sollen, die größer als 45 Grad sind.

Dann wird das in Schichten zerlegte Objekt samt den Druckeinstellungen, wie z. B. Temperatur der Extrusionsdüse oder Druckgeschwindigkeit, im G-Code an den Drucker übertragen. Der **G-Code** ist die Sprache des 3-D-Druckers. Darüber wird ihm mitgeteilt, mit welcher Geschwindigkeit und entlang welchen Pfades er das Druckmaterial ablegen soll. Der Druck kann nun beginnen. Danach wird der fertiggestellte Gegenstand aus dem Bauraum entnommen, gereinigt und ggf. von Stützstrukturen befreit. Das Bauteil kann schließlich durch Schleifen oder Polieren nachbearbeitet werden. Der gesamte Ablauf des Drucks ist in Abbildung 7 zu sehen.

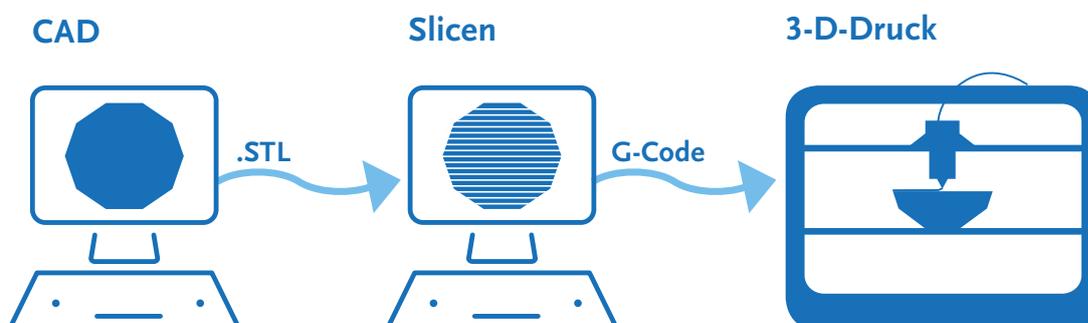
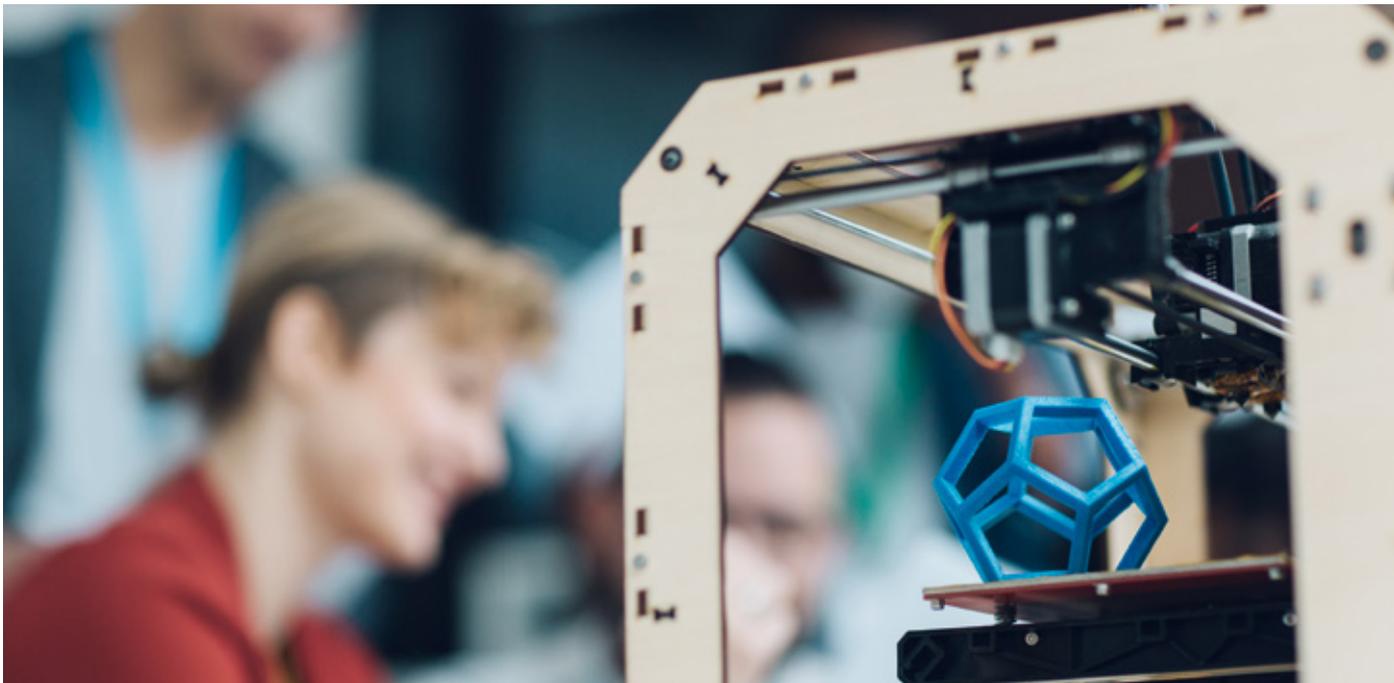


Abb. 7 Ablauf von der CAD-Datei bis zum 3-D-Druck.

## 2 Kauf von 3-D-Druckern und Materialien



### Sichere 3-D-Drucker

Nutzerinnen und Nutzer können mit 3-D-Druckern in offenen Werkstätten arbeiten. Oder sie schaffen sich einen eigenen Drucker an. Viele Geräte, aber wenig geeignete Informationen erschweren die Kaufentscheidung. Die nachfolgenden Hinweise können dabei helfen, einen sicheren 3-D-Drucker auszuwählen. Sie beziehen sich auf das Verfahren des Fused Layer Modeling.

Bei der Stereolithografie und dem Digital Light Processing, für die es auch Desktopgeräte gibt, werden Gefahrstoffe eingesetzt: Kunstharze als Baumaterial oder Reinigungsmittel, wie Aceton oder Isopropanol. Diese können die Gesundheit schädigen, und es besteht Brand- sowie Explosionsgefahr. Sie sollten nur verwendet werden, wenn ausreichende Kenntnisse über Schutzmaßnahmen vorliegen, z. B. zu Schutzausrüstung und Lagerung der Gefahrstoffe. Daher wird auf diese Verfahren hier nicht näher eingegangen.

### Offenes System und Sicherheitsfunktionen

Ähnlich wie bei Tintenstrahldruckern gibt es auch bei 3-D-Druckern Systeme, die nicht zulassen, fremde 3-D-Druckmaterialien zu nutzen. Dadurch sind Verwenderinnen und Verwender des 3-D-Druckers von der Materialauswahl und den Preisen des Herstellers abhängig. Darüber hinaus gibt es inzwischen immer mehr Systeme, die zwar die Druckmaterialien fremder Hersteller zulassen, jedoch nur mit der herstellereigenen Betriebssoftware genutzt werden können. Damit sind Nutzerinnen und Nutzer an die Einstellungen dieser Software gebunden. Das klingt zunächst nicht ungewöhnlich, widerspricht jedoch dem Open-Source-Gedanken der 3-D-Druck-Bewegung.

DKritisch wird dies hinsichtlich der Sicherheitsfunktionen. Bei **offenen Systemen** können Verwenderinnen und Verwender die Software selbst einstellen und Sicherheitsfunktionen einsehen, hinzufügen oder abschalten. Eine Sicherheitsfunktion ist z. B., dass sich der Drucker ausschaltet, wenn der Druckkopf keine Temperatur zurückmeldet. Das kann beispielsweise bei einem Kabelbruch vorkommen. Das Druckmaterial wird im Druckkopf bei rund 200 Grad Celsius aufgeschmolzen. Ohne Rückmeldung an die Software hört der Drucker auf zu arbeiten. Mit dieser Funktion lässt sich vorbeugen, dass der Druckkopf zerstört oder ein Brand ausgelöst wird.

■ Bei einem offenen System können Sicherheitsfunktionen eingesehen oder hinzugefügt werden.

Bei **geschlossenen Systemen** ist nicht erkennbar, ob der 3-D-Drucker über Sicherheitsfunktionen verfügt. Nachträglich können diese Funktionen nicht hinzugefügt werden. Vor dem Kauf sollte daher beim Druckerhersteller in Erfahrung gebracht werden, über welche Sicherheitsfunktionen der 3-D-Drucker verfügt und ob sich fehlende ergänzen lassen. Zu den wichtigsten **Sicherheitsfunktionen** zählen:

- **Temperatur.** Die Temperatur der Heizdüse und des beheizten Druckbettes sollte ununterbrochen gemessen werden. Es wird geprüft, ob die Temperaturen im erwarteten und zulässigen Bereich liegen. Eine zu hohe Temperatur käme einer Überhitzung gleich. Eine zu niedrige Temperatur könnte bedeuten, dass die Temperaturmessung unterbrochen ist.
- **Temperaturanstieg.** Mit der Messung des Temperaturanstiegs wird festgestellt, ob die Temperatur beständig oder schnell ansteigt. Letzteres würde auf einen Fehler hindeuten und das System ausschalten.

■ Die wichtigsten Sicherheitsfunktionen eines 3-D-Druckers sind die stetige Messung von Temperatur und Temperaturanstieg.

Mit Open-Source-Software können diese Funktionen eingerichtet werden, siehe Infobox auf Seite 15.

## Open-Source-Firmware Marlin

Funktionen zur Überprüfung der Temperatur und des Temperaturanstiegs sind in der neuen Version der Open-Source-Firmware Marlin aktiviert. Sie kann kostenfrei heruntergeladen werden unter: <http://marlinfw.org>

Viele 3-D-Drucker mit offenem System nutzen Marlin und haben die Software bereits aufgespielt, sodass nichts angepasst werden muss. Es sollte jedoch überprüft werden, ob die aktuelle Version installiert ist oder ein Update erfolgen muss.

### Schützendes Gehäuse und Filamente

Bei 3-D-Druckern ohne schützendes Gehäuse ist der Druckkopf mit der heißen Extrusionsdüse frei zugänglich. Das kann Probleme mit sich bringen. Vor allem, wenn sich Kinder in der Umgebung des Druckers aufhalten, sollte er mit trennenden Schutzeinrichtungen umgeben oder eingehaust sein.

Das Druckmaterial, das sogenannte Filament, wird auf Rollen aufgewickelt in drahtähnlicher Form der Extrusionsdüse zugeführt. Dabei werden üblicherweise **Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)** und **Poly-Lactic-Acid (PLA)**, auch Polymilchsäure genannt, eingesetzt.

ABS verzieht sich, wenn es zu schnell abkühlt. Daher sind hierfür ein beheiztes Druckbett und ein geschlossener Bauraum mit Gehäuse notwendig. Die Dämpfe, die bei der Erhitzung von ABS freigesetzt werden, stehen im Verdacht, gesundheitsschädlich zu sein. Daher sollte es im Raum, in dem der Drucker steht, ausreichende Belüftung oder eine Absaugeinrichtung geben. Für PLA sind geringere Drucktemperaturen erforderlich, und es wird kein beheiztes Druckbett benötigt.

■ Als Druckmaterialien werden Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und Poly-Lactic-Acid (PLA) eingesetzt. ABS kann gesundheitsschädliche Dämpfe freisetzen. Druckergehäuse und Belüftung sind daher notwendig.



### Sichere Aufstellung und Kalibrierung

Die Abmessungen des Bauraums eines 3-D-Druckers bestimmen, wie groß ein gedrucktes Objekt maximal werden kann. Der Drucker selbst sollte in ausreichendem Abstand zu anderen Gegenständen stehen. Damit kann die Luft zirkulieren, und der Drucker überhitzt sich nicht. Außerdem sollte der Raum immer gut belüftet sein, in dem 3-D-Drucker genutzt werden.

Die Kalibrierung des Druckbettes ist wichtig, damit Fehler beim Druck vermieden werden. **Kalibrierung** heißt, dass das Druckbett genau waagrecht liegt und alle Stellen den gleichen Abstand zur Extrusionsdüse haben. Eine Kalibrierung kann automatisch, halbautomatisch oder manuell erfolgen. Bei 3-D-Druckern für private Verwender ist vor allem die halbautomatische Form üblich.

Nutzerin oder Nutzer bringen hierbei mit Einstellrädern das Druckbett in Waage. Der Druckkopf fährt zudem festgelegte Punkte auf dem Druckbett ab. Entweder wird der Abstand zwischen Druckbett und Extrusionsdüse durch den Drucker ermittelt, oder es wird von Hand mit einem mitgelieferten Werkzeug gemessen. Je nach Abstand der einzelnen Messpunkte sind weitere Anpassungen nötig. Bei einigen Druckern wird das am Display angezeigt. Die gängigen 3-D-Drucker erzeugen Schichthöhen von unter einem Millimeter. Die Genauigkeit der Kalibrierung sollte darauf abgestimmt sein.

■ Bei der Kalibrierung werden Druckbett und Düse ausgerichtet. Damit lassen sich Fehler beim Druck vermeiden.

### Hersteller, Betriebsanleitung und Typenschild

Beim Kauf eines 3-D-Druckers spielt der **Hersteller** eine wichtige Rolle. Dieser sollte über mehrjährige Erfahrung bei der Herstellung von Druckern verfügen. Außerdem sollte er eine möglichst kostenfreie Servicehotline angeben, die bei Fragen oder Problemen angerufen werden kann. Eine deutschsprachige **Betriebs-, Gebrauchs- oder Bedienungsanleitung** muss zum 3-D-Drucker mitgeliefert werden. Diese muss die erforderlichen Hinweise enthalten zu:

- Sicherheit,
- Aufstellung,
- Betrieb,
- Wartung,
- Reinigung,
- Störungsbeseitigung.

Schließlich sollten auf dem **Typenschild** des 3-D-Druckers folgende vorgeschriebene Mindestangaben stehen:

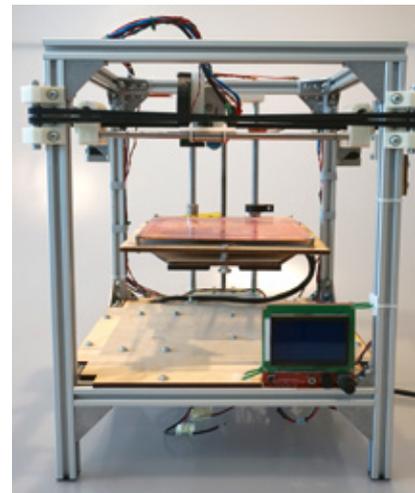
- Bezeichnung der Maschine und Baujahr,
- Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers oder dessen Bevollmächtigten im Europäischen Wirtschaftsraum,
- CE-Kennzeichnung,
- Baureihen- oder Typenbezeichnung, ggf. die Seriennummer,
- Leistungsparameter und Anschlusswerte.

### Bausätze für 3-D-Drucker

3-D-Drucker gibt es als fertige Geräte oder als Bausätze, die erst noch zusammengefügt werden müssen. Komplettbausätze werden von namenhaften Firmen mit langjähriger Erfahrung angeboten oder als günstige Importware aus China. Auf Onlineplattformen werden auch Einzelteile vertrieben, die „do it yourself“ zusammengebaut werden können. Wer einen 3-D-Drucker eigenständig aufbaut, versteht seine Technik und Funktionen besser.

Es sollten jedoch nur Bausätze und Bauteile verwendet werden, die Sicherheitsstandards entsprechen. Eine vollständige und verständliche Anleitung zum Zusammenbau des 3-D-Druckers muss vorliegen. Es gibt Bausätze, bei denen die Netzspannung selbstständig angelegt und geprüft werden soll. Bei anderen Bausätzen liegt die Steuerelektronik ohne Gehäuse offen. Solche 3-D-Drucker sollten nicht ohne Kenntnisse der Elektrotechnik betrieben werden. Sie können erhebliche Sicherheitsrisiken darstellen und zu einem Stromschlag oder Hausbrand führen (Dominik, 2017). Wer selbstgebaute 3-D-Drucker verkauft, muss seine gesetzlichen Pflichten als Wirtschaftsakteur erfüllen, siehe Infobox.

- Der Hersteller des 3-D-Druckers sollte vertrauenswürdig sein. Eine Betriebsanleitung muss beiliegen. Auf ein vollständiges Typenschild ist zu achten.



Ein 3-D-Drucker, der mit einem Bausatz zusammengebaut wurde.

- Bausätze und Bauteile eines 3-D-Druckers müssen sicher sein. Eine Anleitung zum Zusammenbau sollte vorliegen.

## Inverkehrbringen von selbstgebauten 3-D-Druckern

Günstige Bauteile mögen dazu einladen, 3-D-Drucker selbst zusammenzubauen und dann betriebsfähig zu verkaufen. Rechtlich gesehen macht es dabei keinen Unterschied, ob man einen Bausatz oder einen 3-D-Drucker veräußert. In jedem Fall ergeben sich dabei die Pflichten eines Herstellers, Einführers oder Händlers im Europäischen Wirtschaftsraum, wenn die Produkte geschäftsmäßig auf dem Markt bereitgestellt werden. Weitere Informationen dazu finden sich im Kapitel zum rechtlichen Rahmen.

## Druckmaterialien

Das Druckmaterial bestimmt maßgeblich mit, ob der 3-D-Drucker gut arbeitet und das Druckergebnis überzeugt. Hierbei sollten die Angaben des Druckerherstellers beachtet werden, um den 3-D-Drucker nicht zu beschädigen und Sicherheitsrisiken zu vermeiden.

In der Betriebs-, Gebrauchs- oder Bedienungsanleitung des Druckers ist die Maximaltemperatur anzugeben, mit der der Kunststoff im Druckkopf aufgeschmolzen werden kann. Diese Temperatur sollte berücksichtigt werden, wenn Druckmaterial ausgewählt wird. Durch den Hersteller des Druckers ist auch vermerkt, welche Stoffe verwendet werden können. Üblicherweise sind das PLA- und ABS-Filamente. Sie werden von vielen Herstellern zu ganz unterschiedlichen Preisen angeboten. Folgende Hinweise helfen dabei, geeignete Druckmaterialien zu finden.



Mit diesem Splicer lässt sich bei nur einer Druckdüse mit verschiedenen Filamenten zugleich und damit mehrfarbig drucken.

### Sicherheitsdatenblatt und technisches Datenblatt

Im **Sicherheitsdatenblatt** des Druckmaterials sind dessen genaue Bezeichnung, die Zusammensetzung, mögliche Gefahren und Hinweise zur Verwendung angegeben. Namhafte Hersteller bieten auf ihrer Webseite das Sicherheitsdatenblatt zum Download an. Ohne diese Angaben sollte das Material nicht verwendet werden. Wird es nämlich beispielsweise bis auf die Zündtemperatur erhitzt, kann das zu einem Brand führen.

Auf dem **technischen Datenblatt** des Druckmaterials stehen die Materialeigenschaften, z. B. die optimale Drucktemperatur. Außerdem werden die mechanischen Eigenschaften des Stoffes angegeben. Diese bestimmen mit, wie der gedruckte Gegenstand später eingesetzt werden kann. Das technische Datenblatt lässt sich ebenfalls auf der Webseite vieler Hersteller herunterladen.

### Geeignetes Material und Anwendung

Für einen 3-D-Drucker mit geschlossenem System sollten nur Materialien verwendet werden, die vom Hersteller des Druckers vorgegeben sind. Dabei handelt es sich häufig um herstellereigene Filamente. Nicht selten werden durch den Druckerhersteller Garantieansprüche ausgeschlossen, wenn ungeeignetes Material verwendet wird. Das sollte bereits beim Kauf des Druckers bedacht werden.

Ein beliebtes Druckobjekt sind Ausstechformen für Plätzchen oder Kekse. Von deren Druckmaterial dürfen keine Gesundheitsgefahren ausgehen, und es muss für die Verwendung mit Lebensmitteln zugelassen sein.

■ Im Sicherheitsdatenblatt des Druckmaterials sind mögliche Gefahren angegeben, im technischen Datenblatt Eigenschaften des Materials.



## Checkliste Kauf

Die folgende Checkliste fasst die wichtigsten Punkte zusammen, die beim Kauf zu beachten sind.



- **Sicherheitsfunktionen einsehen.** Beim offenen System eines 3-D-Druckers sind die Sicherheitsfunktionen einsehbar, beim geschlossenen System nicht. Dann kann nur der Hersteller Auskunft darüber geben, welche Funktionen aktiviert sind. Informationen darüber sollten vor dem Kauf eines Druckers eingeholt werden.



- **Kindersicherer Drucker.** Ist es wahrscheinlich, dass Kinder Kontakt mit dem Drucker haben, sollte auf die Bauweise geachtet werden. Sind trennende Schutzeinrichtungen vorhanden? Kann man sich am Gerät Quetschungen zuziehen?



- **Platzbedarf.** Dieser ergibt sich aus den Abmessungen des Druckers und aus dem Mindestabstand zu umgebenden Gegenständen. Außerdem ist auf ausreichende Belüftung zu achten.

- **Größe des Bauraums.** Die Breite, Höhe und Tiefe des 3-D-Druckers sind entscheidend, wie groß die gedruckten Objekte werden können.



- **Halbautomatische Kalibrierung.** Die fehlerfreie Ausrichtung des Druckbetts kann automatisch, halbautomatisch oder manuell erfolgen. Üblich ist die halbautomatische Form, durch die eine Software führt.

- **Namhafte Hersteller und Informationen.** Drucker und Materialien sollten von namhaften Firmen hergestellt sein. Außerdem sollten die erforderlichen Informationen mitgeliefert oder angebracht sein: deutschsprachige Betriebsanleitung, Datenblätter, Kennzeichnungen.



- **Handwerkliches Geschick.** Bausätze für 3-D-Drucker sind als Komplettbausatz oder als Einzelteile verfügbar. Der Zusammenbau erfordert handwerkliches Geschick. Er kann auch mit Risiken einhergehen, z. B. mit einem Stromschlag oder Brand bei falscher Verkabelung.

- **Erlaubte Druckermaterialien.** Geschlossene Systeme erlauben nur, Filamente zu nutzen, die der Druckerhersteller anbietet oder zulässt. Offene Systeme sind diesbezüglich nicht beschränkt.

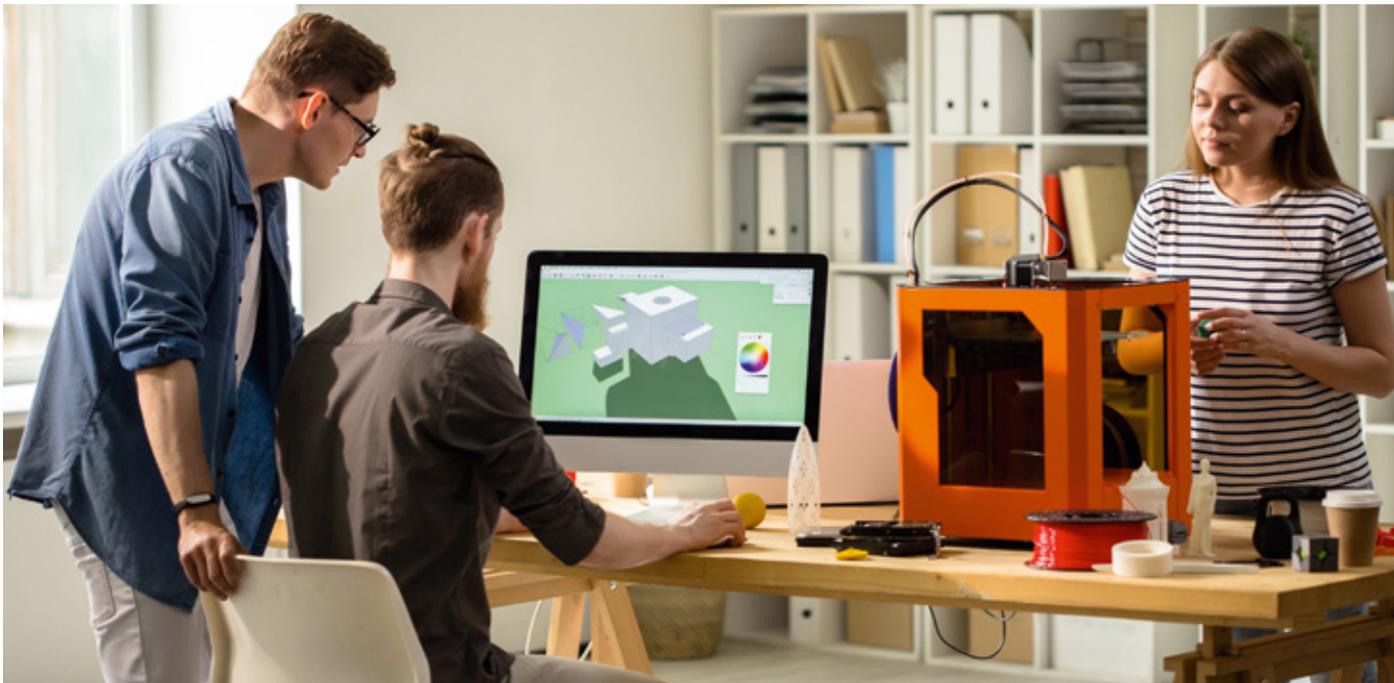


- **Materialeigenschaften.** Einstellungen, die die Druckmaterialien erfordern, sollten mit dem Drucker möglich sein, z. B. die Drucktemperatur. Außerdem müssen Zusammensetzung, Verarbeitung und Ausdünstungen, vor allem bei ABS, berücksichtigt werden.

- **Lebensmittelechte Materialien.** Wenn die gedruckten Objekte in Kontakt mit Lebensmitteln kommen, sollten lebensmittelechte Kunststoffe verwendet werden. Auch Bestandteile des Druckers, wie Druckkopf oder Extrusionsdüse, können sich darauf auswirken.

Abb. 8 Zehn Punkte, die beim Kauf von Drucker, Bausatz und Druckmaterial berücksichtigt werden sollten.

# 3 Sicherheit von Druck und Produkten



## 3-D-Drucker betreiben

Beim Fused Layer Modeling wird der Kunststoff bis zu dessen Schmelztemperatur erhitzt und im Bauraum aufgetragen. Dabei entstehen **Ausdünstungen**. Das können Gase oder Teilchen sein. Ohne ausreichende Belüftung reichern sie sich in der Atemluft an. Das kann die Gesundheit beeinträchtigen, siehe Infobox auf Seite 22.

Um das Druckmaterial zu erhitzen, sind an der Extrusionsdüse Temperaturen um 200 Grad Celsius notwendig. Hat der 3-D-Drucker keine Einhausung, sollten keine Gegenstände in den Bauraum des Druckers hineinragen oder Personen hineingreifen. Andernfalls kann ein **Brand** entstehen, oder es kommt zu **Verbrennungen** der Haut. Das gilt auch bei der Reinigung oder Wartung des Druckers.

- Beim Drucken können schädliche Ausdünstungen entstehen. Daher sollte ausreichend belüftet werden.
- Brand und Verbrennungen lassen sich vermeiden, wenn nichts in den Bauraum des Druckers hineinragt. Rauchmelder und Feuerlöscher sollten sich in der Nähe befinden.

## Gefahrstoffe

Gefahrstoffe können auf verschiedenen Wegen in den menschlichen Körper gelangen. Gase, Stäube, Rauch und Dämpfe werden über die Atmung aufgenommen. Flüssigkeiten und Stäube können verschluckt oder über die Haut aufgenommen werden und z. B. Allergien auslösen. Ein Gefahrstoff kann je nach Art und Eigenschaft gesundheitsschädlich oder sogar toxisch sein. Daneben gehen von Gefahrstoffen weitere Gefährdungen aus, z. B. Brand- und Explosionsgefahr. Sie wirken sich zudem negativ auf die Umwelt aus.

Es werden sehr dünne Materialschichten aufgetragen. Dadurch dauert der Druck mitunter mehrere Stunden. Dennoch sollte der Drucker nicht unbeaufsichtigt oder über Nacht betrieben werden. Eine Störung, z. B. eine überhitzte Extrusionsdüse oder ein Softwarefehler, kann einen Brand auslösen. Einige Druckmaterialien auf Erdölbasis sind besonders entzündlich. Vorsorglich sollten ein Rauchmelder und ein Feuerlöscher im Raum vorhanden sein, in dem der 3-D-Drucker steht. Das kann Leben retten.

## 3-D-Drucker in Schulen

Mit dem 3-D-Druck können Anschauungsobjekte hergestellt werden. Diese bieten sich für den Unterricht an Schulen oder Universitäten an. Daher soll hier kurz auf rechtliche Aspekte zum **Betrieb von 3-D-Druckern an Schulen** eingegangen werden.

Im Schulgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (SchulG) ist beispielsweise in § 3 geregelt, dass die Schule den Unterricht im Rahmen der Rechts- und Verwaltungsvorschriften in eigener Verantwortung gestaltet. Wenn 3-D-Drucker an Schulen zur Verfügung gestellt oder betrieben werden, gelten verschiedene Rechtsvorschriften, etwa die Betriebssicherheitsverordnung oder Unfallverhütungsvorschriften. Aus ihnen ergeben sich zahlreiche Pflichten zur Prüfung und zum sicheren Betrieb von Anlagen, Einrichtungen und Arbeitsmitteln in der Schule.

■ Wenn 3-D-Drucker in Schulen verwendet werden, gelten für Verantwortliche zahlreiche Pflichten. Werden diese verletzt, drohen den Verantwortlichen zivilrechtliche Haftung, Geld- und Freiheitsstrafen.



In Niedersachsen wurde durch einen Runderlass den Dienststellenleitungen im Schulbereich die Verantwortung als Betriebsleiter im Sinne des § 13 Absatz 1 Nummer 4 des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) übertragen. Somit obliegt es den Leiterinnen und Leitern der schulischen Dienststellen entsprechend den Vorschriften zur Unfallverhütung und der Betriebssicherheitsverordnung, etwa für die Prüfung der Sicherheit ortsveränderlicher elektrischer Geräte, z. B. 3-D-Drucker, zu sorgen. Werden diese Sorgfaltspflichten verletzt, kann dies nachteilige Folgen haben. Je nach Schwere der Pflichtverletzungen bedeutet dies Haftung für Schäden eines Anderen bis zu Geld- und Freiheitsstrafen für die Verantwortlichen.

Kommt es beim Betrieb der 3-D-Drucker oder bei der Verwendung gedruckter Produkte zu einem Sach- oder Personenschaden, drohen den Verantwortlichen zivilrechtliche Schadensersatzhaftung und unter Umständen auch persönliche Strafbarkeit. Für die verantwortlichen Lehrkräfte ist es daher ratsam, nur 3-D-Drucker namhafter Hersteller und vertrauenswürdiger Händler zu verwenden. Der Drucker muss eine CE-Kennzeichnung haben und mit einer deutschen Betriebsanleitung ausgestattet sein. Die gedruckten Produkte sollten im Zweifel nur Anschauungsobjekte sein, also vorsorglich nicht an Schüler, Studenten oder Dritte abgegeben werden. Darüber hinaus gelten die allgemeinen Sorgfalts- und Fürsorgepflichten des Schul- und Lehrbetriebs.

## Sicherheit der gedruckten Produkte

Mit den Produkten, die im 3-D-Drucker hergestellt wurden, sollten jegliche Sach- oder Personenschäden vermieden werden. Das können Gesundheitsrisiken sein oder ein Brand durch Überhitzung.

Für Produkte, die in **Kontakt mit Lebensmitteln** kommen, werden lebensmittelechte Filamente angeboten. Das Filament kann jedoch während des Drucks weitere Materialien berühren, z. B. den Kunststoffschlauch der Materialzufuhr und das Metall der Extrusionsdüse. Das kann zu Ablagerungen führen und das Filament verunreinigen. Bei der Herstellung von Objekten, die in Kontakt mit Lebensmitteln oder in Kinderhand gelangen, sollte also nicht nur das richtige Filament ausgewählt werden. Es ist auch auf die Bestandteile des Druckers zu achten, die Kontakt mit dem Filament haben.

■ Für Produkte, die Kontakt mit Lebensmitteln haben, sollten lebensmittelechte Kunststoffe verwendet werden. In den gedruckten Rillen können sich Keime ansiedeln.

Durch den schichtweisen Aufbau des Materials entstehen feine Rillen in der Oberfläche des gedruckten Gegenstands. Sie begünstigen, dass sich dort **Keime und Schmutz** ablagern. Eigenschaften des Materials, wie etwa seine Beständigkeit gegen Feuchtigkeit oder Sonnenlicht, beeinflussen ebenfalls die Qualität des Objekts.

Von gedruckten Objekten neben **Wärmequellen**, wie z. B. Kerzenhaltern oder Lampenschirmen, können Gefahren ausgehen. Durch die Wärme kann der Kunststoff schmelzen, sich verformen oder entzünden. Am heimischen 3-D-Drucker sollten diese Objekte daher nicht hergestellt werden, um eine mögliche Brandgefahr zu vermeiden. Es sollten auch keine Gegenstände gedruckt werden, die mit elektronischen Elementen oder deren Gehäuse in Berührung kommen.

■ Es sollten keine Objekte hergestellt werden, die in der Nähe von Wärmequellen verwendet werden.



Bei Objekten, die **mechanischer Belastung** ausgesetzt sind, muss der Kraftfluss von der Einleitung bis zur Wirkung der Kraft berücksichtigt werden. Er kann von den Schichten des Materials oder der Richtung der Materialschichten und damit der Ausrichtung des Objekts im Bauraum abhängig sein. Das kann z. B. für gedruckte Gegenstände wichtig sein, die aufgehängt werden. Bei der Herstellung von Produkten, die später mechanisch belastet werden, sollten immer physikalische Kenntnisse vorliegen. Im Schadensfall könnten mögliche Garantieansprüche geltend gemacht werden.

## Checkliste Sicherheit

Was für die Sicherheit rund um das Drucken und die Verwendung der Produkte wichtig ist, steht in der folgenden Checkliste.



- **Ausdünstungen beachten.** Wenn das Filament erhitzt wird, können gesundheitsschädlichen Ausdünstungen entstehen. Daher sollte für eine ausreichende Belüftung oder ggf. eine Absaugeinrichtung gesorgt werden.



- **Brandgefahr vermeiden.** Zur Erhitzung des Filaments sind hohe Temperaturen notwendig. Der Drucker sollte deshalb nicht in der Nähe leicht entflammbarer Materialien stehen. Es dürfen auch keine Gegenstände in den Druckraum hineinragen.



- **Rauchmelder und Feuerlöscher.** Im Raum, in dem der Drucker steht, sollten ein Rauchmelder und ein Feuerlöscher angebracht sein. So kann bei einem möglichen Brand schnell reagiert werden.



- **Pflichten in Schulen bedenken.** Werden 3-D-Drucker oder gedruckte Produkte in Schulen genutzt, müssen viele Pflichten beachtet werden, die sich aus Vorschriften ergeben. Eine Nutzung sollte gut überlegt sein.



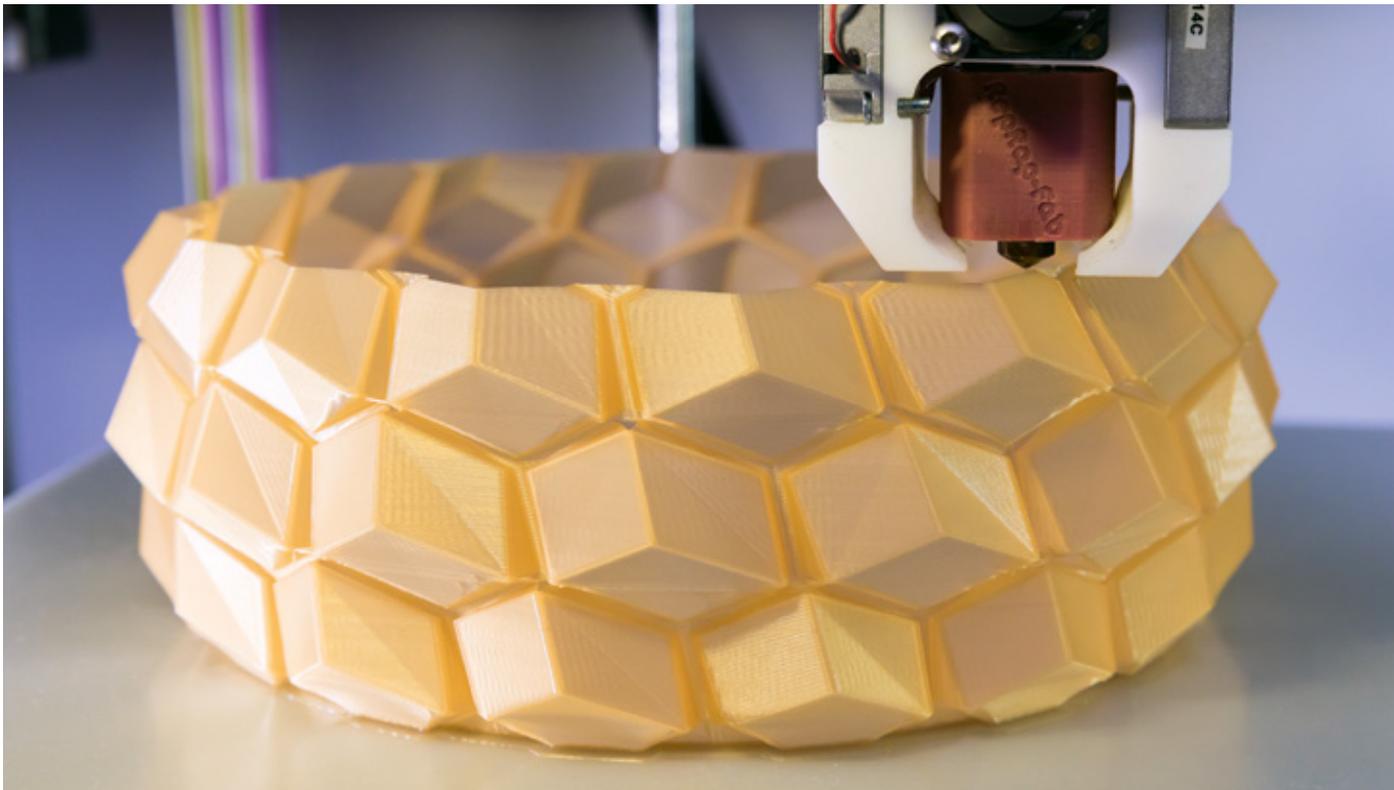
- **Verunreinigte Rillen.** In den Rillen der schichtweise gedruckten Objekte können sich Keime und Bakterien ablagern, oder sie könnten verschmutzt sein.

- **Nicht an Wärmequellen.** Gedruckte Produkte sollten nicht in die Nähe von Wärmequellen gelangen, wie etwa Kerzen oder Lampen. Durch die Wärme kann der Kunststoff schmelzen, sich verformen oder entzünden. Besonders gefährlich ist das bei Filamenten, die auf Erdölbasis hergestellt sind.

- **Mechanische Belastung berücksichtigen.** Wird ein Produkt später mechanisch belastet und beispielsweise aufgehängt, sollten physikalische Kenntnisse vorliegen. Die Belastbarkeit hängt z. B. von der Richtung der aufgetragenen Schichten ab.

**Abb. 9** Sieben Punkte, die beim Betreiben von 3-D-Druckern und der Anwendung der hergestellten Produkte für Sicherheit sorgen.

## 4 Rechtlicher Rahmen



Hier wird der rechtliche Rahmen erläutert, der für die Herstellung und Haftung rund um den 3-D-Druck im Europäischen Wirtschaftsraum gilt. Im Mittelpunkt stehen dabei die Pflichten, die sich ergeben, wenn die private Verwenderin oder der Verwender zum Wirtschaftsakteur wird.

**Private Nutzung** des 3-D-Drucks fällt nicht unter das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG). Spezialgesetzliche produkt- und gefährdungsbezogene europäische Richtlinien, wie etwa die Maschinenrichtlinie 2006 / 42 / EG (MRL), greifen dann nicht. Das ist der Fall, wenn ein Verbraucher z. B. einen 3-D-Drucker aus einem Bausatz für die eigene Nutzung zusammenfügt. Oder wenn er einen 3-D-Drucker verwendet, um damit Gegenstände für den privaten Gebrauch herzustellen.

■ Die private Nutzung des 3-D-Drucks fällt nicht unter das Produktsicherheitsgesetz. Aber auch hier können sich Fälle der Haftbarkeit und strafrechtlichen Verantwortlichkeit ergeben.

Dem Verbraucher drohen jedoch allgemeine Risiken der Haftung und Strafbarkeit, auch wenn er den 3-D-Druck privat und die gedruckten Produkte außerhalb des ProdSG verwendet. Das kann geschehen, wenn er schuldhaft Sorgfaltspflichten verletzt und nicht fachgerecht mit der Technik und den Erzeugnissen umgeht. Dadurch können Sach- oder Personenschäden verursacht werden.

Andererseits wird nicht jede Form des Herstellens oder Bereitstellens von Produkten bereits als Geschäftstätigkeit oder Vertrieb auf dem Markt im Sinne des ProdSG bewertet. Das kann der nur gelegentliche private Verkauf oder das vereinzelte, ggf. auch kostenpflichtige Verleihen von 3-D-Drucktechnik außerhalb einer gewerblichen, unternehmerischen bzw. betrieblichen Tätigkeit sein. Das stellt keine Geschäftstätigkeit auf dem Markt nach dem ProdSG dar (LASI, 2013).

Aus rechtlicher Sicht lässt sich allerdings schwer abgrenzen, wann die Schwelle zum Anwendungsbereich des ProdSG und den dazugehörigen Verordnungen überschritten ist und wann nicht. Daher wird empfohlen, im Zweifel eine rechtliche Bewertung einzuholen.

## Wenn private Verwender zum Hersteller werden

Rechtliche Herausforderungen beim 3-D-Druck ergeben sich vor allem daraus, dass private Verbraucherinnen und Verbraucher leicht zum **Hersteller** werden können, ohne über das Wissen zu verfügen, das diese Rolle erfordert. Erforderlich sind lediglich ein 3-D-Drucker, eine Datei und Druckmaterial. Die Nutzerin oder der Nutzer weiß häufig wenig über den Druckvorgang oder die Qualität des gedruckten Produktes. Ihr oder ihm sind die maßgeblichen Gesetze, Normen, Regeln und Standards nicht bekannt. Oder eine mögliche Gefährdung wird nicht erkannt, die vom gedruckten Produkt ausgeht.

Wird der 3-D-Druck unternehmerisch oder gewerblich genutzt, gilt für die erzeugten Produkte das ProdSG. Alle damit verbundenen Pflichten treffen dann die Verwenderin oder den Verwender. Wenn der Verkauf selbst hergestellter Produkte ausgebaut wird, kann sie oder er unbeabsichtigt zum verpflichteten Wirtschaftsakteur, wie Hersteller, Bevollmächtigten, Einführer oder Händler, sowie Aussteller oder gewerblichen Nutzer werden. Im Europäischen Wirtschaftsraum sind dann das ProdSG und die dazugehörigen Verordnungen maßgeblich. Die Nutzerin oder der Nutzer mag sich dessen nicht bewusst sein.

Verwender, die durch ihr gewerbliches Auftreten Hersteller im Sinne des ProdSG sind, haften auch entsprechend. Das kann geschehen, wenn die von Ihnen hergestellten Produkte einen Schaden verursachen. Ein Beispiel wäre ein Brand, der durch einen geschmolzenen Lampenschirm aus gedrucktem Kunststoff ausgelöst wird.



■ Private Verwenderinnen und Verwender können unbeabsichtigt zum Hersteller werden. Damit gelten für sie das Produktsicherheitsgesetz, entsprechende Verordnungen und Pflichten.

Ergeben sich aus produktbezogenen Rechtsvorschriften oder bestimmten Gefährdungen zusätzliche Sonderpflichten, ist stets das speziellere Recht vorrangig zu beachten. Überwachungsbehörden können ebenfalls aufgrund **spezieller Rechtsvorschriften** tätig werden. Beim 3-D-Druck ist hierbei insbesondere an folgende Rechtsgebiete zu denken:

- Zweite Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz:  
Verordnung über die Sicherheit von Spielzeug (2. ProdSV),
- Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB),
- Bauprodukteverordnung (BauPVO),
- Medizinproduktegesetz (MPG),
- Waffenrecht mit dem Kriegswaffenkontrollgesetz (KrWaffKontrG) und dem Waffengesetz (WaffG) sowie
- die weiteren Produktsicherheitsverordnungen, die aufgrund des ProdSG erlassen wurden.

Beim 3-D-Druck können auch spezielle Rechtsvorschriften greifen, etwa zum Waffenrecht oder zur Verordnung über die Sicherheit von Spielzeug.



## Viele Vorschriften am Beispiel einer Fantasyfigur

Folgendes Beispiel soll verdeutlichen, welche umfangreichen Pflichten auf die Verbraucherin oder den Verbraucher zukommen, wenn sie unbeabsichtigt zum Hersteller werden. Die Nutzerin oder der Nutzer entwirft eine Figur für ein Fantasyspiel und druckt sie auf dem 3-D-Drucker aus. Das Druckmaterial ist jedoch für Spielzeug untauglich. Es besteht aus giftigen und umweltschädlichen Substanzen, einem Metallpulver und einem Kunststoff.

Die Figur wird dann rege über einen Internetshop verkauft. Damit liegt eine Bereitstellung eines Produktes am Markt vor. Bereits das mehrfache Anbieten und Vertreiben über eine Internetplattform ist als Geschäftstätigkeit im Sinne des ProdSG zu bewerten. Folgende weitere Verpflichtungen gehen damit einher.

Es sind vor allem die Verordnung über die Sicherheit von Spielzeug, mit der die Spielzeugrichtlinie umgesetzt wird, und die hierzu einschlägige technische Norm EN 71 zu beachten. Die Spielzeugrichtlinie ist eine europäische CE-Richtlinie, die die Marktfähigkeit für ein Produkt in der Europäischen Union festlegt. Sie schreibt vor, dass Grenzwerte für bestimmte Schadstoffe beim hergestellten Produkt nicht überschritten werden dürfen. Bevor das Produkt auf dem Markt bereitgestellt wird, muss der Hersteller zudem eine umfassende Dokumentation erstellen. Damit weist er nach, dass die Anforderungen der Spielzeugrichtlinie erfüllt werden.

■ Wird ein Produkt am Markt bereitgestellt, müssen viele Vorschriften berücksichtigt werden, etwa der Spielzeug- oder EU-Chemikalienverordnung.

Verwendet die Nutzerin oder der Nutzer eine Mischung aus Metallpulver und chemischen Zusätzen, z. B. einem Fließmittel oder Kleber für das Pulver, sowie selbst hergestellte Filamente, gilt die Europäische Chemikalienverordnung (REACH-Verordnung). Die Verbraucherin oder der Verbraucher müsste also nach dem ProdSG eine **Vielzahl von Vorschriften** beachten und dies entsprechend dokumentieren. Dazu fehlen ihnen erfahrungsgemäß die notwendigen Kenntnisse und Ressourcen.

Im Haftungsfall müssten sie beweisen, dass das Spielzeug sicher hergestellt wurde. Sie sollten die verwendeten Druckmaterialien deklarieren können. Zudem kommen weitere **Pflichten** nach § 6 ProdSG auf sie zu:

■ Zu den Pflichten eines Herstellers gehört es, Verwender zu informieren, das Produkt zu kennzeichnen, Maßnahmen zu treffen und Behörden zu benachrichtigen.

- sicherstellen, dass die Verwender Informationen zu den Risiken des Produktes erhalten,
- CE-Kennzeichnung des Produktes,
- Name und Anschrift des Herstellers anbringen,
- geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Risiken treffen, diese können bis zu Rücknahme, Warnung und Rückruf reichen,
- Stichproben bei den bereitgestellten Verbraucherprodukten durchführen,
- Beschwerden prüfen und ggf. ein Beschwerdebuch führen,
- die Händler über betreffende Maßnahmen unterrichten,
- Marktüberwachungsbehörden bei gefährlichen Produkten benachrichtigen und ein mögliches Krisenmanagement.

Verbraucherin oder Verbraucher, die mit dem 3-D-Drucker Produkte herstellen, können unter Umständen zudem zivilrechtlich im Rahmen des Produkthaftungsgesetzes (ProdHaftG) haften. Diese **Haftung** tritt ein, wenn durch unternehmerisches, geschäftsmäßiges Handeln ein fehlerhaftes Produkt zugänglich gemacht wurde, das einen Schaden an Körper oder Gesundheit bzw. einer anderen Sache als dem Produkt verursacht hat. Die Verwenderin oder der Verwender des 3-D-Druckers haftet dann wie ein Hersteller verschuldensunabhängig für das eigene Handeln nach dem ProdHaftG.

■ Verwenderinnen und Verwender haften für ein fehlerhaftes Produkt, das bei andere Personen oder Sachen einen Schaden verursacht.

Für solche Substanzschäden haftet der Hersteller auch unabhängig vom unternehmerischen, geschäftsmäßigen Handeln, wenn er fahrlässig war und dadurch Personen- oder Sachschäden verursacht hat. Es kommen dann verschuldensabhängige Ansprüche aus sogenannter deliktischer Haftung gemäß § 823 Abs. 1 BGB sowie

§ 823 Abs. 2 BGB in Verbindung mit einem Schutzgesetz und aus § 826 BGB auf Schadensersatz in Betracht. Die betroffenen Hersteller dürften gegen solche Schäden häufig nicht versichert sein.

Hinzu kommt möglicherweise eine vertragliche Haftung. Wenn ein Kaufvertrag besteht, wird oft nach Vertragsrecht und Bürgerlichem Gesetzbuch (BGB) gehaftet. Das kann etwa die Haftung für Sachmängel, bei Nichterfüllung, bei Unmöglichkeit der Leistung, auf Nacherfüllung und auf Schadensersatz bedeuten.

Zugleich können Vorschriften des Urheberrechts verletzt sein, wenn Datenmodelle oder Vorlagen zum Druck verwendet wurden. Gleiches gilt bei einer Verletzung von Patenten oder Markenrechten, wenn patent- oder markengeschützte Produkte nachgebaut werden. Denkbar sind zudem polizei- und ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, wenn beim Druck oder beim Bereitstellen der gefertigten Produkte Sicherheitsrisiken auftreten. Außerdem ist eine strafrechtliche Verantwortung der privaten Verwenderin oder des Verwenders möglich.

Die umfangreichen Pflichten für gewerbliche Hersteller, Einführer oder Händler ergeben sich aus teilweise sehr komplexen Sicherheitsvorschriften. Sie gelten auch für private Verwenderinnen und Verwender, wenn sie geschäftsmäßig auf dem Markt auftreten. Dann können auch die Marktüberwachungsbehörden gegen alle Personen tätig werden, die das Produkt hergestellt und bereitgestellt haben. In der Infobox sind der rechtliche Rahmen und die Aufgaben der Marktüberwachung skizziert.

## Marktüberwachung

- **Marktüberwachungsbehörden** sind alle Behörden, die für die Durchführung der Marktüberwachung zuständig sind. Sie überwachen die Wirtschaftsakteure, die Waren auf dem Markt der Europäischen Union bereitstellen.
- Die Behörden stellen sicher, dass nur Produkte auf den Markt kommen, die den gesetzlichen **Anforderungen an die Produktsicherheit** entsprechen.
- Zu den Behörden gehören typischerweise **Gewerbeaufsichtsämter, Arbeitsschutzämter** oder vergleichbare Behörden, wie etwa die Bezirksregierung. Sie stellen sicher, dass die Vorschriften des ProdSG eingehalten werden.
- Gemäß § 26 ProdSG können die Behörden **Marktüberwachungsmaßnahmen** veranlassen, z. B.:
  - anhand von Stichproben kontrollieren, ob Produkte die Anforderungen erfüllen,
  - die Bereitstellung eines Produktes verbieten,
  - anordnen, dass klare Hinweise zu Risiken des Produktes angebracht werden,
  - die Rücknahme oder den Rückruf eines bereitgestellten Produktes anordnen,
  - Produkte sicherstellen und vernichten.

## Pflichten für Wirtschaftsakteure

Wenn die private Verwenderin oder der Verwender 3-D-Drucker, gedruckte Produkte, Druckerbausätze, Druckmaterialien oder Software verkauft oder Drucktechnik gewerblich Dritten zur Verfügung stellt, haben sie die Pflichten eines Wirtschaftsakteurs. Das sind nach § 2 ProdSG Hersteller, Bevollmächtigte, Einführer oder Händler. Sie sind für die Sicherheit der Produkte verantwortlich und müssen dabei mitwirken, dass nur sichere Produkte auf den Markt kommen. Außerdem haften sie entsprechend. Eine Übersicht zu den rechtlichen Anforderungen an Wirtschaftsakteure gibt die folgende Infobox.



### Wirtschaftsakteure

- Wirtschaftsakteure sind nach dem Produktsicherheitsgesetz:
  - **Hersteller:** jede Person, die ein Produkt herstellt, entwickeln oder herstellen lässt und dieses unter ihrem eigenen Namen vermarktet,
  - **Bevollmächtigter:** jede im Europäischen Wirtschaftsraum ansässige Person, die der Hersteller beauftragt hat, bestimmte Aufgaben wahrzunehmen,
  - **Einführer:** jede im Europäischen Wirtschaftsraum ansässige Person, die ein Produkt aus einem Staat, der nicht diesem Wirtschaftsraum angehört, in den Verkehr bringt,
  - **Händler:** jede Person in der Lieferkette, die ein Produkt auf dem Markt bereitstellt.
- Wirtschaftsakteure haben gemäß dem Produktsicherheitsgesetz und seinen Verordnungen **bestimmte Pflichten**. So müssen Hersteller z. B. gewährleisten, dass die Produkte allen geltenden EU-Vorschriften zur Sicherheit und Gesundheit von Personen entsprechen. Bevollmächtigte müssen ebenso wie Hersteller für eine eindeutige Kennzeichnung des Produktes sorgen. Einführer haben darauf zu achten, dass nur sichere Produkte in den EU-Binnenmarkt eingeführt werden. Händler müssen überprüfen, ob alle vorangehenden Akteure in der Lieferkette ihre Pflichten erfüllt haben.
- Wirtschaftsakteure haben §§ 1 bis 8 des **Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG)**, §§ 7 ff. der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und zahlreiche einschlägige Richtlinien zum ProdSG zu beachten.
- Alle, die als Wirtschaftsakteur, gewerblicher Nutzer oder Aussteller tätig werden wollen, finden dazu weitere Hinweise im *baua*: Fokus „**3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für Hersteller und andere geschäftsmäßige Nutzer**“.

Damit das ProdSG zum Tragen kommt, müssen die Produkte im Rahmen einer Geschäftstätigkeit bereitgestellt werden. Diese kann allerdings schon angenommen werden, wenn sie in geringem Umfang erfolgt.

Die Wirtschaftsakteure haben eine Vielzahl von nationalen und europäischen Rechtsvorschriften zu beachten, deren Einhaltung von verschiedenen Bundes- und Landesbehörden überwacht wird. Sie müssen vor allem die zahlreichen Anforderungen erfüllen, die sich darauf beziehen, sichere Produkte in Verkehr zu bringen und sie ohne Gefährdung zu nutzen. Private Verwenderinnen oder Verwender werden diese häufig nicht erfüllen können. Der geschäftsmäßige 3-D-Druck stellt für sie damit ein Risiko dar.

Folgende Punkte sollten beachtet werden, wenn private Verwender die Pflichten und Risiken von Wirtschaftsakteuren vermeiden wollen:

- keine 3-D-Drucker, Materialien oder Produkte im Rahmen einer Geschäftstätigkeit im Europäischen Wirtschaftsraum herstellen, verkaufen, anbieten, vertreiben oder einführen,
- keine gedruckten Produkte veräußern, das gilt auch für solche, die in anderen Produkten eingesetzt werden,
- keine Produkte auf Messen oder Märkten zum Zweck des Vertriebs oder im Rahmen einer Geschäftstätigkeit ausstellen,
- nichts im Rahmen einer werbenden Geschäftstätigkeit verschenken,
- nichts an Dritte über den privaten Gebrauch hinaus verleihen,
- den 3-D-Druck nur für den privaten Bedarf und Bereich nutzen.

■ **Verwenderinnen und Verwender, die die Risiken von Wirtschaftsakteuren vermeiden wollen, sollten keine Drucker, Materialien oder Produkte geschäftsmäßig verkaufen.**



## Fazit



Mit dem 3-D-Druck lassen sich kreative Ideen buchstäblich in Form bringen. Dafür werden mittlerweile unzählige Drucker, digitale Druckvorlagen und Materialien angeboten. Private Nutzerinnen und Nutzer können auch in öffentlichen MakerSpaces Alltagsgegenstände oder Designprodukte drucken.

Dabei sollten sie jedoch die Produktsicherheit beachten. Sie stellen damit sicher, dass Drucker, Druckvorgang, eingesetzte Materialien und hergestellte Produkte die Gesundheit von Personen nicht gefährden. Folgende drei Punkte sind dabei besonders wichtig.

**Sicherheit beim Kauf beachten.** 3-D-Drucker sollten von namhaften Herstellern gekauft werden. Betriebsanleitung und Datenblätter müssen mitgeliefert werden. Ein offenes System des Gerätes erlaubt es, die Sicherheitsfunktionen einzusehen, etwa um Überhitzung zu vermeiden. Es sollten nur Kunststoffe gekauft werden, für die der Drucker ausgelegt ist.

**Sicher drucken und nutzen.** Beim Drucken können schädigende Dämpfe entstehen. Daher sollte ausreichend belüftet werden. Um Brandgefahr zu vermeiden, dürfen keine entflammaren Gegenstände in der Nähe stehen. In den Rillen der gedruckten Objekte können sich Keime ansiedeln. Die Produkte aus Kunststoff sollten nicht an Wärmequellen stehen, da sie schmelzen könnten.

**Rechtliche Pflichten bedenken.** Wer Drucker oder gedruckte Produkte geschäftsmäßig auf dem Markt bereitstellt, ist ein Wirtschaftsakteur mit weitreichenden Pflichten. Das Produkt muss dann z. B. vorschriftsmäßig hergestellt und gekennzeichnet sein. Außerdem haftet man dafür, wenn es anderen Personen oder Sachen Schaden zufügt. Wer diese Risiken nicht eingehen will, sollte den 3-D-Druck nur für den privaten Bedarf nutzen und nichts anbieten oder verkaufen.

# Weiterführende Informationen

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, Hrsg., 2016.** Additive Fertigung: Stellungnahme. München: Herausgeber. Verfügbar unter: [www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2016\\_Stellungnahme\\_AdditiveFertigung.pdf](http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2016_Stellungnahme_AdditiveFertigung.pdf)

**Berger, Uwe, Andreas Hartmann, Dietmar Schmid, 2017.** 3D-Druck – additive Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing. 2. Auflage. Haain-Gruiten: Europa-Lehrmittel Nourney.

**Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Hrsg., 2018.** 3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für die Marktüberwachung. Dortmund: Herausgeber. Verfügbar unter: [www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/3-D-Druck-Marktueberwachung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/3-D-Druck-Marktueberwachung.pdf?__blob=publicationFile)

**Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Hrsg., 2018.** 3-D-Druck und Produktsicherheit: Informationen für Hersteller und andere geschäftsmäßige Nutzer. Dortmund: Herausgeber. Verfügbar unter: [www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/3-D-Druck-Produktsicherheit.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/3-D-Druck-Produktsicherheit.pdf?__blob=publicationFile)

**Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Hrsg., 2018.** Sichere Produkte im Onlinehandel: Wegweiser für Hersteller, Einführer und Händler. Dortmund: Herausgeber. Verfügbar unter: [www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/Onlinehandel.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/Onlinehandel.pdf?__blob=publicationFile)

**Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Hrsg., 2016.** Unsichere Produkte im Onlinehandel: Informationen, Tipps und Empfehlungen. Dortmund: Herausgeber. Verfügbar unter: [www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A96.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A96.pdf?__blob=publicationFile)

**Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Hrsg., 2018.** Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG). Berlin: Herausgeber. Verfügbar unter: [www.gesetze-im-internet.de/prodsg\\_2011/](http://www.gesetze-im-internet.de/prodsg_2011/)

**Dominik, 2017.** Haus brannte wegen 3D-Drucker aus China. In: 3Druck.com – Das Magazin für 3D-Drucktechnologien. 22.05.2017. Verfügbar unter:  
<https://3druck.com/nachrichten/haus-brannte-wegen-3d-drucker-aus-china-4658346/>

**Fastermann, Petra, 2012.** 3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt. Heidelberg: Springer Vieweg.

**Fastermann, Petra, 2016.** 3D-Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert. 2., aktualisierte Auflage. Berlin: Springer.

**Gebhardt, Andreas, 2016.** Additive Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser.

**Hagl, Richard, 2015.** Das 3D-Druck-Kompendium: Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.

**Horsch, Florian, 2014.** 3D-Druck für alle: Der Do-it-yourself-Guide. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser.

**Lachmayer, Roland, Rene Bastian Lippert, Thomas Fahlbusch, 2016.**  
3D-Druck beleuchtet: Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung.  
Berlin: Springer Vieweg.

**Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Hrsg., 2013.**  
Leitlinien zum Produktsicherheitsgesetz (ProdSG): LASI-Veröffentlichung – LV 46. 3., überarbeitete Auflage. Hamburg: Herausgeber. Verfügbar unter:  
[https://lasi-info.com/uploads/media/lv\\_01.pdf](https://lasi-info.com/uploads/media/lv_01.pdf)

**Wohlers, Terry, 2017.** Wohlers report 2017: Additive manufacturing and 3D printing state of the industry. Annual worldwide progress report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates.

**Impressum****Produktsicherheit beim 3-D-Druck**

Tipps für private Verwenderinnen und Verwender

**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@baua.bund.de](mailto:info-zentrum@baua.bund.de)  
 Internet [www.baua.de](http://www.baua.de)

**Fachliche Beratung**

Dr. Tobias Bleyer, Marie Pendzich, Peter Wanders  
 Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

**Text**

Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder, Dr.-Ing. Katrin Höhn, Dipl.-Ing. Inga-Lisa Hilgers  
 Technische Universität Dresden  
 Rechtsanwalt Burkhard Meyer, Rechtsanwalt Stephan Schreiber  
 Rischbieter Meyer Schreiber Rechtsanwälte Partnerschaft, Bremen

**Redaktion**

Tobias Frindte, Dr. Andrea Thalmann  
 Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

**Grafik**

eckedesign, Berlin

**Fotos**

Titel zinkevych/Adobe Stock, S. 3 sciencephoto/Adobe Stock, S. 4 Czgur/iStock.com, vgajic/iStock.com, S. 5, 9, 17 Technische Universität Dresden, S. 8, 18, 26, 27 Uwe Völkner/Fotoagentur FOX, Lindlar, S. 10 Technische Universität Dresden, Chompworks/thingiverse.com, S. 11 Technische Universität Dresden, roland.creativetools.se, S. 13 vgajic/iStock.com, S. 16 mediaphotos/iStock.com, S. 19 izusek/iStock.com, S. 21 seventyfour/Adobe Stock, S. 23 asiseeit/iStock.com, S. 24 prescottog/iStock.com, S. 28 Ocskaymark/iStock.com, S. 31 af\_istocker/iStock.com, S. 32 Ocskaymark/iStock.com, S. 33 izusek/iStock.com

**Herstellung**

Druck & Verlag Kettler GmbH, Bönen

In dieser Broschüre wird eine geschlechtergerechte Sprache verwendet. Dort, wo das nicht möglich ist oder die Lesbarkeit eingeschränkt würde, gelten die personenbezogenen Bezeichnungen für beide Geschlechter.

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

1. Auflage, März 2019  
 ISBN 978-3-88261-251-6 (Print)  
 doi:10.21934/baua:praxis20190102 (online)



[www.baua.de/dok/8809260](http://www.baua.de/dok/8809260)

