

#makers  
DO IT.



Stephan Regele

# Mach was mit 3D-Druck!

2. Auflage

Entwickle, drucke und baue  
deine DIY-Objekte

HANSER



Regele  
**Mach was mit 3D-Druck!**



#### **Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!**

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

**plus-4HsFi-L3bLi**

**[plus.hanser-fachbuch.de](http://plus.hanser-fachbuch.de)**



#### **Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Stephan Regele

# **Mach was mit 3D-Druck!**

Entwickle, drucke und baue deine DIY-Objekte

2., überarbeitete Auflage

**HANSER**

Der Autor:

*Stephan Regele, Villanueva de la Cañada*

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

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

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

© 2023 Carl Hanser Verlag München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Melanie Zinsler

Titelmotiv: © Stephan Regele

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: le-tex publishing Services, Leipzig

Druck und Bindung: Beltz Grafische Betriebe, Bad Langensalza

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-47570-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47753-7

ePub-ISBN: 978-3-446-47790-2

*Für Elena und Carmen*

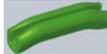


# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Schnelleinstieg in den 3D-Druck .....</b>	<b>5</b>
2.1	Welche 3D-Druckverfahren gibt es? .....	5
2.2	Aufbau eines FDM-Druckers .....	7
2.3	Auswahlkriterien zur Anschaffung eines 3D-Druckers .....	13
2.4	Druckmaterialien .....	15
2.4.1	PLA .....	16
2.4.2	ABS .....	16
2.4.3	PLA und ABS im Vergleich .....	16
2.4.4	PETg .....	17
2.4.5	PVA .....	17
2.4.6	TPE .....	17
2.4.7	Die wichtigsten Druckmaterialien im Vergleich .....	18
2.5	Datenerstellung und -aufbereitung für den Druck .....	19
2.5.1	Content-Plattformen .....	20
2.5.2	CAD-Programme .....	22
2.5.3	Slicer-Software .....	23
<b>3</b>	<b>3D-Druck-Grundlagen .....</b>	<b>25</b>
3.1	Allgemeine Druckeinstellungen .....	25
3.1.1	Extruder .....	26
3.1.2	Schichten .....	27
3.1.3	Ergänzungen .....	28
3.1.4	Füllung .....	28

3.1.5	Stützen	29
3.1.6	Temperatur	35
3.1.7	Abkühlen	36
3.1.8	G-Code	36
3.1.9	Skripte	37
3.1.10	Andere	38
3.1.11	Weitere Einstellungen	39
3.2	Druckherausforderungen und -probleme meistern	40
3.2.1	Lagerung des Filaments	40
3.2.2	Geometrische Formen	40
3.2.2.1	Schräge Wand mit/ohne Stützstruktur (Support)	40
3.2.2.2	Übergang (Bridge)	42
3.2.2.3	Horizontale Bohrung	46
3.2.3	Dünne Wandstärken	47
3.2.4	Verbesserung der Haftung des Druckteils auf der Druckplatte	53
3.2.5	Gelungener Druckbeginn – die erste Schicht	56
3.2.6	Düsenverstopfung	59
3.3	Druckerpflege und -wartung	60
3.3.1	Reinigen und Schmieren der Antriebsstränge	60
3.3.2	Zahnriemenspannung überprüfen	60
<b>4</b>	<b>Verbindung von 3D-Druckteilen</b>	<b>64</b>
4.1	Schraubverbindung mit Gewindeeinsatz	65
4.2	Schraubverbindung mit 6kt-Mutter in Senknot	67
4.3	Schraubverbindung mit Einpressmutter	70
4.4	Schraubverbindung mit Quermutterbolzen	72
4.5	Schraubverbindung mit Nutmutter	74
4.6	Schraubverbindung mit Spreizmuffe	78
4.7	Schraubverbindung mit Helicoil	79
4.8	Schraubverbindung mit Hülsenverschraubung	84
4.9	Selbst gedruckte Schraubverbindung (DIY)	87
4.10	Kleberverbindung	93

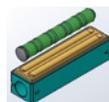


<b>5</b>	<b>Puzzle</b> .....	<b>98</b>	
5.1	Übersicht der benötigten Teile .....	98	
5.2	Druckeinstellungen für das Puzzle .....	99	
5.3	Hinzufügen von Mund und Augen .....	100	
5.4	Nachdruck eines einzelnen Puzzleteils .....	100	
<b>6</b>	<b>USB-Stick</b> .....	<b>103</b>	
6.1	USB-Stick mit Smiley-Gehäuse (Variante 1) .....	103	
6.1.1	Übersicht der benötigten Teile .....	104	
6.1.2	Druckeinstellungen für das Smiley-Gehäuse (Hauptkörper) .....	105	
6.1.3	Druckeinstellungen für den Halter (Einschub) .....	108	
6.2	USB-Stick mit Smiley-Gehäuse (Variante 2) .....	112	
6.2.1	Übersicht der benötigten Teile .....	112	
6.2.2	Druckeinstellungen für Augen und Mund .....	113	
6.2.3	Festkleben von Augen und Mund .....	114	
6.3	USB-Stick mit Smiley-Gehäuse (Variante 3) .....	114	
6.3.1	Übersicht der benötigten Teile .....	114	
6.3.2	Druckeinstellungen für den Hauptkörper und den Einschub .....	115	
6.3.3	Druckeinstellungen für Augen und Mund .....	115	
6.4	USB-Stick mit Smiley-Gehäuse: die drei Varianten im Vergleich .....	116	
6.5	USB-Stick mit Yin-Yang-Gehäuse .....	119	
6.5.1	Übersicht der benötigten Teile .....	120	
6.5.2	Druckeinstellungen für Yin- und Yang-Körper .....	121	
6.5.3	Druckeinstellungen für die Zylinder .....	122	
<b>7</b>	<b>Tragegriffe für Tüten und Taschen</b> .....	<b>125</b>	
7.1	Tragegriff für Tüten .....	125	
7.1.1	Übersicht der benötigten Teile .....	127	
7.1.2	Druckeinstellungen für den Tragegriff .....	128	
7.2	Tragegriff für Taschen .....	129	
7.2.1	Übersicht der benötigten Teile .....	130	
7.2.2	Druckeinstellungen für den Tragegriff .....	130	

	<b>8</b>	<b>Nussknacker</b> .....	<b>134</b>
	8.1	Übersicht der benötigten Teile .....	135
	8.2	Konstruktive Verstärkung des Hebels .....	136
	8.3	Druckeinstellungen für das Gestell .....	138
	8.4	Druckeinstellungen für den Hebel .....	142
	8.5	Druckeinstellungen für das Distanzstück .....	142
	8.6	Montage .....	143
	<b>9</b>	<b>Zubehör für elektronische Geräte</b> .....	<b>146</b>
	9.1	Tabletständer .....	146
	9.1.1	Übersicht der benötigten Teile .....	147
	9.1.2	Druckeinstellungen für den Tabletständer .....	147
	9.2	Kleiner Tabletständer .....	149
	9.2.1	Druckeinstellungen für den kleinen Tabletständer .....	149
	9.3	Handyhalter .....	151
	9.3.1	Druckeinstellungen für den Handyhalter .....	152
	9.4	Handyhalter mit USB-Stick .....	157
	<b>10</b>	<b>Fruchtfliegenfalle</b> .....	<b>161</b>
	10.1	Übersicht der benötigten Teile .....	163
	10.2	Probendruck der Abdeckung .....	164
	10.3	Endgültiger Druck der Abdeckung .....	165
	10.4	Zubereitung des Fruchtfliegenköders .....	166
	<b>11</b>	<b>Hamburgerpresse</b> .....	<b>169</b>
	11.1	Übersicht der benötigten Teile .....	169
	11.2	Allgemeine Druckeinstellungen für sämtliche Teile der Hamburgerpresse ..	171
	11.3	Druckeinstellungen für den Griff .....	172
	11.4	Druckeinstellungen für den Außenring .....	173
	11.5	Druckeinstellungen für die Oberplatte .....	174
	11.6	Druckeinstellungen für die Unterplatte .....	174
	11.7	Druckeinstellungen für den Zentrierbolzen .....	175
	11.8	Verbindung von Griff und Oberplatte .....	175
	11.9	Konstruktive Varianten .....	176
	11.10	Tipps zum richtigen Einsatz der Hamburgerpresse .....	177

## 12 Mückenstichheiler.....178

- 12.1 Übersicht der benötigten Teile .....179
- 12.2 Druckeinstellungen für den Behälter.....180
- 12.3 Druckeinstellungen für den Stift .....181
- 12.4 Anfertigung der Holzplatte.....183
- 12.5 Zusammenbau des Mückenstichheilers.....183
- 12.6 Gebrauchsanweisung zur Verwendung des Mückenstichheilers .....185



## 13 Blumenvase.....186

- 13.1 Übersicht der benötigten Teile .....187
- 13.2 Druckeinstellungen für das Gestell .....188
- 13.3 Druckeinstellungen für den Halter.....191
- 13.4 Druckeinstellungen für das Etikett.....191
- 13.5 Nachbearbeitung des Etiketts .....193



## 14 Brillengestell.....196

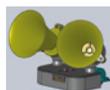
- 14.1 Übersicht der benötigten Teile .....198
- 14.2 Druckeinstellungen für den Brillenrahmen .....198
- 14.3 Druckeinstellungen für die Bügel.....200
- 14.4 Druckeinstellungen für die Scharniere .....204
- 14.5 Zusammenbau des Brillengestells .....205
- 14.6 Einfügen der Brillengläser .....206



## 15 MP3-Player.....208

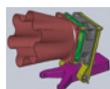
- 15.1 MP3-Player (Mono).....208
  - 15.1.1 Übersicht der benötigten Teile .....211
  - 15.1.2 Zusammenbau des MP3-Players (Mono) .....212
  - 15.1.3 Druckteile des MP3-Players (Mono) .....213
  - 15.1.4 Druckeinstellungen für den Halter .....214
  - 15.1.5 Druckeinstellungen für die Box.....215
  - 15.1.6 Druckeinstellungen für die Taste .....217
  - 15.1.7 Druckeinstellungen für den Deckel.....217
  - 15.1.8 Druckeinstellungen für den Lautsprecherhalter .....218
  - 15.1.9 Druckeinstellungen für das Horn .....221





15.2	MP3-Player (Stereo) . . . . .	222
15.2.1	Übersicht der benötigten Teile . . . . .	223
15.2.2	Zusammenbau des MP3-Players (Stereo) . . . . .	225
15.2.3	Schaltplan des MP3-Players (Stereo). . . . .	225
15.2.4	Druckteile des MP3-Players (Stereo). . . . .	227
15.2.5	Druckeinstellungen für das Horn . . . . .	227
15.2.6	Druckeinstellungen für den Lautsprecherhalter . . . . .	228
15.2.7	Druckeinstellungen für den Halter . . . . .	229
15.2.8	Druckeinstellungen für die Box. . . . .	229
15.2.9	Druckeinstellungen für den Deckel. . . . .	230
15.2.10	Druckeinstellungen für die Taste . . . . .	231
15.2.11	Tastenbelegung der MP3-Player-Karte . . . . .	232

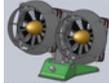
## 16 Tischventilator. . . . . 233



16.1	Ventilator 80 mm . . . . .	233
16.1.1	Übersicht der benötigten Teile . . . . .	235
16.1.2	Zusammenbau des Ventilators (80 mm). . . . .	236
16.1.3	Verkabelung des Ventilators (80 mm). . . . .	238
16.1.4	Druckteile des Ventilators (80 mm) . . . . .	239
16.1.5	Druckeinstellungen für das Rohr . . . . .	239
16.1.6	Druckeinstellungen für den Halter . . . . .	240
16.1.7	Druckeinstellungen für den Strömungsrichter . . . . .	241
16.1.8	Druckeinstellungen für die Basis . . . . .	243



16.2	Ventilator 120 mm . . . . .	245
16.2.1	Übersicht der benötigten Teile . . . . .	245
16.2.2	Zusammenbau des Ventilators (120 mm) . . . . .	247
16.2.3	Verkabelung des Ventilators (120 mm). . . . .	248
16.2.4	Druckteile des Ventilators (120 mm). . . . .	249
16.2.5	Druckeinstellungen für die Düse. . . . .	249
16.2.6	Druckeinstellungen für den Zapfen . . . . .	251
16.2.7	Druckeinstellungen für den Halter . . . . .	253
16.2.8	Druckeinstellungen für die Basis . . . . .	255

16.3	Doppelventilator 120 mm . . . . .	257	
16.3.1	Unterbaugruppe Fußplatte . . . . .	259	
16.3.2	Unterbaugruppe Basis . . . . .	259	
16.3.3	Unterbaugruppe Ventilatorenhalter . . . . .	261	
16.3.4	Hauptbaugruppe . . . . .	262	
16.3.5	Verkabelung des Doppelventilators . . . . .	263	
16.3.6	Druckteile des Doppelventilators . . . . .	265	
16.4	Varianten der Ventilatoren (120 mm) . . . . .	273	
16.4.1	Neuteil der Düse . . . . .	274	
16.4.2	Umbauteil der Düse . . . . .	276	
16.4.3	Nachrüstteil der Düse . . . . .	277	
<b>17</b>	<b>Alarmvorrichtung zum Erkennen von Filament-Problemen . . . . .</b>	<b>279</b>	
17.1	Unterbaugruppe Filamentrollenhalter . . . . .	281	
17.2	Unterbaugruppe Sensorhalter . . . . .	283	
17.3	Unterbaugruppe Elektronikgehäuse . . . . .	284	
17.4	Unterbaugruppe Gestell . . . . .	286	
17.5	Verkabelung . . . . .	287	
17.6	Druckteile für die Alarmvorrichtung . . . . .	289	
17.6.1	Druckeinstellungen für den Halter . . . . .	290	
17.6.2	Druckeinstellungen für den Anschlag . . . . .	291	
17.6.3	Druckeinstellungen für den Sensorhalter . . . . .	292	
17.6.4	Druckeinstellungen für das Gehäuse . . . . .	293	
17.6.5	Druckeinstellungen für den Deckel . . . . .	295	
<b>18</b>	<b>Geige . . . . .</b>	<b>297</b>	
18.1	Unterbaugruppe Vorderteil . . . . .	298	
18.2	Unterbaugruppe Mittelteil . . . . .	299	
18.3	Unterbaugruppe Hinterteil . . . . .	300	
18.4	Unterbaugruppe Halter Schulterstütze . . . . .	301	
18.5	Unterbaugruppe Rohr . . . . .	302	
18.6	Baugruppe Geige . . . . .	303	
18.7	Verschraubungen . . . . .	305	

18.8	Druckteile der Geige .....	312
18.8.1	Druckeinstellungen für das Vorderteil .....	313
18.8.2	Druckeinstellungen für das Mittelteil .....	319
18.8.3	Druckeinstellungen für das Hinterteil .....	321
18.8.4	Druckeinstellungen für den Anschlag .....	323
18.8.5	Druckeinstellungen für den Halter (Kinnhalter) .....	324
18.8.6	Druckeinstellungen für den Halter (Schulterstütze) .....	325
18.8.7	Druckeinstellungen für den Steg .....	325
<b>19</b>	<b>Uhrenbeweger .....</b>	<b>328</b>
19.1	Baugruppen des Uhrenbewegers .....	329
19.1.1	Unterbaugruppe Innenring .....	330
19.1.2	Unterbaugruppe Mittelring .....	331
19.1.3	Unterbaugruppe Außenring .....	331
19.1.4	Unterbaugruppe Uhrenhalter .....	332
19.1.5	Unterbaugruppe Mitnehmer .....	333
19.1.6	Unterbaugruppe Gehäusedeckel .....	334
19.1.7	Unterbaugruppe Gehäusewand .....	335
19.1.8	Unterbaugruppe Gehäuseboden .....	336
19.1.9	Stücklisten des Uhrenbewegers .....	336
19.2	Verkabelung .....	341
19.3	Programmierung .....	342
19.4	Druckeinstellungen .....	346
19.4.1	Allgemeine Druckeinstellungen .....	346
19.4.2	Spezielle Druckeinstellungen .....	346
19.5	Nacharbeit und Zusammenbau .....	354
19.6	Inbetriebnahme .....	361
	<b>Index .....</b>	<b>365</b>



# 1

## Einführung

Lohnt sich die Anschaffung eines 3D-Druckers? Darauf gibt es nur eine Antwort: Es kommt darauf an. Zuallererst muss man sich im Klaren sein, dass 3D-Drucken ein Hobby für Kreative ist. Sich fertig modellierte Teile aus dem Netz herunterzuladen und auszudrucken, ist am Anfang eine gute Möglichkeit, den Drucker und das Druckprogramm näher kennenzulernen, doch mit der Zeit wird die Langeweile siegen. In dir wird sich der Wunsch regen, bestehende Modelle abzuändern und deinen Wünschen anzupassen, oder selbstentwickelte Objekte zu fertigen. Genau hier beginnt es, kreativ zu werden – nämlich dann, wenn man sich Gedanken macht, was für einen Gegenstand man gerne fertigen möchte. Um die eigenen Ideen umzusetzen, ist ein CAD-Programm zum Modellieren der Teile sowie ein Druckprogramm (auch Slicer-Software genannt) unentbehrlich. Im Internet gibt es ein großes Angebot kostenloser Slicing- und CAD-Software. Wenn man in der Anwendung dieser Programme noch ungeübt ist, findet man auf z.B. auf YouTube jede Menge Tutorials, die einem dabei helfen, die Programme leichter und schneller zu erlernen.

Kreativität ist das richtige Stichwort, denn hier setzt dieses Buch an. Nicht ohne Grund lautet der Titel des Buches *Mach was mit 3D-Druck*. Dieses Buch soll zeigen, dass 3D-Drucken mehr als das bloße Nachdrucken von Vorlagen ist, und dir Anregungen geben, was sich mit 3D-Druck alles realisieren lässt. Das Buch ist sowohl für Druckanfänger als auch für erfahrene 3D-Druck-Anwender geeignet. Es geht darin auch nicht nur ums 3D-Drucken, sondern um das Herstellen von Gegenständen. Dieses Buch vermittelt dir Fertigkeiten, die einen echten Erfinder ausmachen. Du erfährst alles, was du wissen musst, um mithilfe von 3D-Druck deine Produktidee zu realisieren: vom Konstruktionsmodell über das Drucken der Einzelteile bis zum Zusammenbau deines DIY-Objekts.

Dieses Buch enthält 25 Beispielprojekte. Dazu zählen sowohl Gebrauchsgegenstände und Arbeitsmittel als auch Gegenstände für Freizeit & Hobby. Von einfachen Utensilien bis zu komplizierten Geräten ist alles dabei. In einigen Projekten sind auch elektronische Komponenten enthalten. Die Projekte sind nach Schwierigkeitsgrad geordnet. Es wird mit einfachen, leicht zu druckenden Teilen begon-

nen. Zum Ende hin werden die Baugruppen dann immer komplexer. Darüber hinaus werden in Kapitel vier verschiedene Methoden vorgestellt, mit denen Druckteile miteinander verbunden werden können.

Für alle Druckteile werden allgemeine Druckeinstellungen vorgeschlagen. Falls z. B. konstruktive Herausforderungen besondere Einstellungen erforderlich machen, werden diese ausführlich dargestellt. Es wird auch beschrieben, wie man Druckprobleme bereits in der Konstruktion durch die Anwendung bestimmter Tricks umgehen kann.

Alle in diesem Buch vorgestellten Gegenstände habe ich entweder selbst entwickelt oder ich habe ein Modell aus dem Internet heruntergeladen und dieses an meine persönlichen Vorstellungen angepasst. Zu Beginn meiner 3D-Druck-Laufbahn habe ich erst einmal Druckvorlagen verwendet oder Objekte nachkonstruiert. Mit der Zeit kamen dann immer kompliziertere Apparate zustande. Am Ende habe ich mich sogar an den Einsatz von elektronischen Bauteilen herangewagt. Folgenden Tipp kann ich dir mit auf den Weg geben: Außer Kreativität solltest du beim 3D-Drucken auf jeden Fall auch viel Geduld mitbringen. Solltest du diese Geduld nicht besitzen, dann werden dir die Fehldrucke, die du mühsam über einen halben Tag hinweg produziert hast, diesen Charakterzug sicherlich noch nahebringen. Ich weiß, wovon ich spreche ...

### **Wie man mit diesem Buch arbeitet**

Zum Arbeiten mit diesem Buch benötigst du selbstverständlich einen 3D-Drucker. Die technischen Voraussetzungen dieses Druckers sind minimal, das heißt, fast alle Projekte aus diesem Buch benötigen nur einen Extruder und eine Druckplattform von 200 × 200 mm (ohne Heizbett). Lediglich das Vasen-Projekt aus Kapitel 13 benötigt eine Druckplattform von mindestens 250 × 200 mm. Als Druckmaterial wird in fast allen Projekten PLA vorgeschlagen. Falls man über ein Heizbett verfügt, kann man diese Teile auch mit ABS drucken. Einige wenige Projekte benötigen aus hygienischen Gründen PETg als Druckmaterial.

Eine Voraussetzung zum Erstellen der Druckdateien ist der Besitz einer Slicing-Software. Alle Druckbeispiele sind mit dem kommerziellen Programm Simplify3D (Version 4.1.2) erzeugt worden. Dieses Programm hat eine große Vielfalt an Einstellmöglichkeiten und erzeugt sehr gute Druckergebnisse. Das Programm ist kostenpflichtig und lohnt sich deshalb vor allem für Anwender, die häufig drucken. Die allermeisten der hier beschriebenen Befehle können auch mit kostenlosen Druckprogrammen erzeugt werden.



Sämtliche Druckteile, die in den Beispielprojekten aus diesem Buch zum Einsatz kommen, stehen unter *plus.hanser-fachbuch.de* bereit. Ganz vorne im Buch findest du den dafür benötigten Zugangscodes. Zusätzlich zu den Druckdateien (stl-Format) werden die Daten auch als neutrale, von allen CAD-Programmen verarbeitbare STEP-Dateien zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise können am existierenden Modell Änderungen vorgenommen werden, was bei Daten im stl-Format meistens unmöglich ist. Ein CAD-Programm ist demnach nicht erforderlich, aber gewünscht, damit bei Bedarf Anpassungen an den Modellen vorgenommen werden können, oder kreative Weiterentwicklungen möglich werden.

Viele der Projekte gehen weit über das 3D-Drucken hinaus. Größere Baugruppen bestehen nicht nur aus Druckteilen, sondern enthalten auch (elektronische) Kaufteile, welche man sich beim Baumarkt oder bei Onlineanbietern besorgen kann. Die meisten dieser Teile können bei Amazon oder eBay bezogen werden. Normteile wie Schrauben, Muttern oder Aluminiumrohre können in jedem Baumarkt gekauft werden.

Zu Beginn jedes Beispielprojekts erhältst du eine Übersicht der benötigten Teile. Diese sogenannte Stückliste enthält sowohl die über 3D-Druck erzeugten Teile sowie alle zusätzlich benötigten Teile inklusive der genauen Referenzen und Bezugsmöglichkeiten. Bei komplexeren Projekten findest zu jedem Teil eine Positionsnummer (Abkürzung: Pos.) in der Stückliste. Die Positionsnummer findet sich auch in der technischen Zeichnung zu diesem Projekt wieder, welche die Einzelteile in der Übersicht zeigt. Über die Positionsnummern wird deutlich, um welches Teil aus der Stückliste es sich jeweils handelt.

Ich habe jedes der Teile gekauft und vermessen, um zu gewährleisten, dass die Kaufteile genau in die Druckteile passen. Trotzdem kann es passieren, dass sich im Laufe der Zeit Kaufteile mit gleicher Bestellnummer in ihren Eigenschaften verändern. Deshalb empfehle ich, die Teile zuerst zu erwerben und mit den CAD-Daten zu vergleichen, bevor du das jeweilige Teil druckst.

Hinsichtlich der Elektronikteile möchte ich noch erwähnen, dass immer Anschlusspläne vorliegen. Trotzdem solltest du im Umgang mit Strom nicht unvorsichtig sein, auch wenn nur 5–12 V Gleichstrom anliegen.



Wenn du dir unsicher bist oder keine Erfahrung auf dem Gebiet der Verkabelung hast, ist dringend anzuraten, eine im Umgang mit Elektronik erfahrene Person zurate zu ziehen, denn jeder noch so kleine Kurzschluss kann einen Brand verursachen.



Falls du noch Fragen oder Anregungen hast, dann kannst du mich gerne unter [info@mach-was-mit-3d-druck.org](mailto:info@mach-was-mit-3d-druck.org) kontaktieren. Auf der Webseite zum Buch (<http://mach-was-mit-3d-druck.org>) findest du Hinweise zu Aktualisierungen bzw. Änderungen, welche die Inhalte des Buches sowie den 3D-Druck im Allgemeinen betreffen.

Und nun wünsche ich dir viel Freude bei der Lektüre dieses Buches!

Villanueva de la Cañada, Januar 2023

*Stephan Regele*

# 2

## Schnelleinstieg in den 3D-Druck

In diesem Kapitel erhältst du einen Schnelleinstieg in die Welt des 3D-Drucks. Du lernst die verschiedenen Druckverfahren kennen, allen voran das FDM/FFF-Verfahren, das bei der Mehrheit der 3D-Drucker für den Heimanwenderbereich zum Einsatz kommt. Du erfährst, wie ein FDM-Drucker aufgebaut ist, wie er funktioniert und auf welche Auswahlkriterien du bei der Anschaffung achten solltest. Außerdem lernst du die verschiedenen Druckmaterialien kennen, die du verwenden kannst. Darüber hinaus erfährst du, wie du von der Idee über das Konstruktionsmodell und die Druckdatei zum gedruckten Gegenstand gelangst.

### ■ 2.1 Welche 3D-Druckverfahren gibt es?

Der geniale Erfinder Charles W. Hull patentierte 1984 das erste Druckverfahren, die Stereolithografie. Fünf Jahre später patentierte S. Scott Crump das Schmelzschichtverfahren, auf dessen Technik die meisten 3D-Drucker für den Hobbybereich basieren. Vor allem seit Ablauf einiger Patente hat sich ab 2010 ein 3D-Druck-Megatrend sowohl in der Industrie als auch im Heimanwenderbereich entwickelt.

Die technische Realisierung aller Druckverfahren basiert auf der Schichtbautechnologie, das heißt, das Druckteil wird schichtweise erzeugt. Der 3D-Druck ist ein sogenanntes Generatives bzw. Additives Fertigungsverfahren. Mit additiv ist gemeint, dass dem Werkstück Material hinzugefügt wird. Dies unterscheidet den 3D-Druck von herkömmlichen Fertigungsverfahren wie der Subtraktiven (Drehen, Fräsen, Bohren) und der Formativen Fertigung (Gießen, Schmieden, Biegen).

Die Druckverfahren unterscheiden sich im Wesentlichen im Druckwerkstoff, im Zustand des zu verdruckenden Materials und in der Art der Verschmelzung. Die Anforderungen an das Druckteil sind ebenso zu berücksichtigen. Wird das Druckteil hohen oder niedrigen Belastungen ausgesetzt sein oder soll es nur als Anschauungsobjekt dienen? Natürlich spielen auch die Herstellungskosten eine große Rolle. Im Folgenden stelle ich die bekanntesten 3D-Druckverfahren kurz vor.

### **Stereolithografie (SLA/STL)**

Die Stereolithografie (SLA/STL: Stereo Lithography Apparatus<sup>1</sup>) basiert auf einer photochemischen Reaktion des lichtempfindlichen Druckwerkstoffs. Bei diesem Verfahren wird lichtaushärtender, flüssiger Kunststoff (Kunstharz, Epoxyharz) von einem Laser schichtweise ausgehärtet. Eine Druckplattform befindet sich in einem mit flüssigem Kunststoff gefüllten Behälter. Diese senkt sich um die Druckschichtdicke ab, sodass der flüssige Kunststoff über die zuletzt gedruckte Schicht fließt. Dann wird die nächste Druckschicht mit dem Laser ausgehärtet.

**Vorteil:** Das Verfahren erzeugt sehr glatte Oberflächen und es können filigrane Strukturen gedruckt werden.

**Nachteil:** Aufgrund der geringen Bauteilfestigkeit dient es vornehmlich für die Erzeugung visueller Prototypen (= Anschauungsmodelle).

### **Selektives Laserschmelzen/Selective Laser Melting (SLM)**

Beim Selektiven Laserschmelzen (Selective Laser Melting, SLM) wird Metall- oder Keramikpulver durch Laserstrahlen verschmolzen. Nachdem eine Druckschicht erzeugt wurde, wird das Druckteil um eine Druckschichthöhe abgesenkt. Anschließend wird weiteres Pulver mithilfe eines Rakels über die gedruckte Schicht verteilt, bevor die nächste Druckschicht mit dem Laser angeschmolzen wird. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis das Druckstück fertig gedruckt ist. Um eine Oxidation des Druckmaterials während des Drucks zu vermeiden, wird der hermetisch verschlossene Druckbereich mit einer Schutzatmosphäre (Stickstoff oder Argon) gefüllt.

**Vorteil:** Man kann glattere Oberflächen als bei den meisten anderen Druckverfahren erzielen. Es ist eine hohe Bauteilfestigkeit gewährleistet und es sind keine Stützstrukturen nötig.

**Nachteil:** Man kann keine hohlen Körper drucken, ohne dass eine Auslassöffnung für das im Inneren verbliebene Pulver in das Bauteil eingearbeitet wurde. Die Anschaffungskosten für den Drucker sowie die Bauteilkosten (teures Pulver) sind verhältnismäßig hoch.

### **Selektives Lasersintern (SLS)**

Ein weiteres Druckverfahren ist das Selektive Lasersintern (SLS). Es ähnelt dem Prinzip des Selektiven Laserschmelzens. Neben Metallen und keramischen Materialien kann auch Kunststoffpulver gesintert werden. Beim Sintern werden die Oberflächen der Pulverkörner miteinander verschmolzen. Das hat ein gewisses Maß an Porosität (Durchlässigkeit) zur Folge, sodass das Bauteil (falls nötig) nach dem Druck noch mit geeigneten Lacken an der Oberfläche versiegelt werden kann.

---

<sup>1</sup> stereos [στερεός] ist das altgriechische Wort für fest, stabil, im weiteren Sinn auch räumlich; lithos [λίθος] bedeutet Stein und graphein [γράφω] heißt schreiben.

Eine Besonderheit stellt das Versintern von Kunststoffpulver dar. Hier wird der Bauraum bis knapp unter die Schmelztemperatur des Kunststoffes erhitzt, sodass der Laser nur noch geringe Energie aufbringen muss, um das Kunststoffpulver zu versintern.

### **Fused Deposition Modeling/Fused Filament Fabrication (FDM/FFF)**

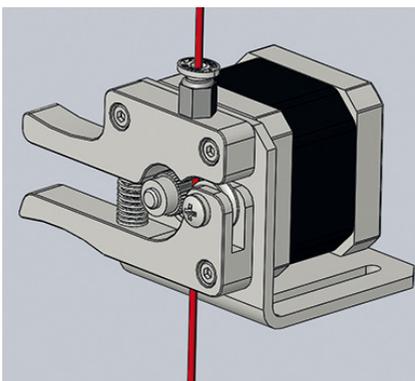
Die Mehrheit der 3D-Drucker für den Heimanwenderbereich funktionieren nach dem Prinzip der Schmelzschichtung (FDM = Fused Deposition Modeling bzw. FFF = Fused Filament Fabrication). Hierbei wird ein Kunststoff-Filament aus Thermoplast<sup>2</sup> (z. B. PLA, ABS, PET, PVC) über die Schmelztemperatur erhitzt und in Schichten übereinander aufgetragen.

## **■ 2.2 Aufbau eines FDM-Druckers**

Wie bereits erwähnt, basiert das Prinzip des FDM-Druckers darauf, ein Kunststoff-Filament zu erhitzen und mit Positioniervorrichtungen an die gewünschten Stellen aufzubringen. Die mechanischen Grundelemente eines FDM-Druckers sind der Druckkopf (Extruder), das Hotend, die Druckplatte und die Positioniereinheit, welche ich im Folgenden genauer vorstellen werde.

### **Druckkopf (Extruder)**

Der Druckkopf (Extruder) dient der Filament-Zufuhr. Er besteht aus einem Schrittmotor, auf dessen Welle ein gerändeltes Rad sitzt. Ein gefedert gelagertes Anpressrad sorgt für einen schlupffreien Filament-Vorschub (Bild 2.1).

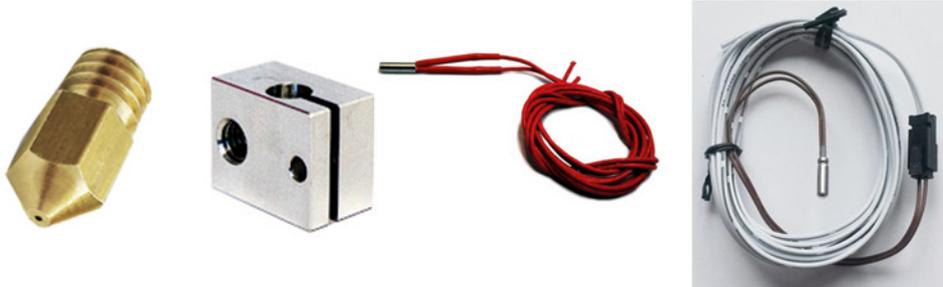


**Bild 2.1** Extruder

<sup>2</sup> Thermoplaste sind Kunststoffe, welche sich in bestimmten Temperaturbereichen plastisch verformen und nach dem Abkühlen die Form beibehalten.

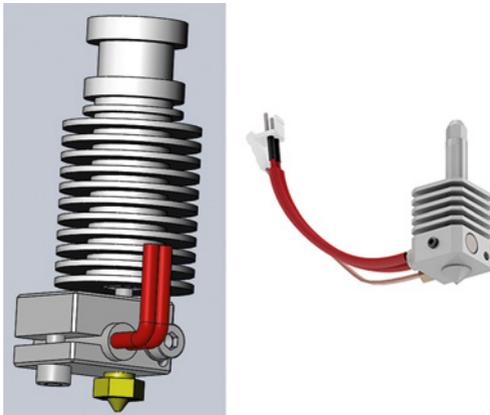
## Hotend

Im Hotend wird das Filament geschmolzen. Um eine Verstopfung des Zuführrohrs durch geschmolzenes Filament zu unterbinden, ist das Zuführrohr mit einem Wärmediffusor (*Heat Sink*) ausgestattet. So wird die überschüssige Wärme an die Umgebung abgeleitet und das vorzeitige Schmelzen des Filaments verhindert. Zur Unterstützung der Wärmeabfuhr wird nicht selten ein Ventilator auf den Diffusor gesetzt.

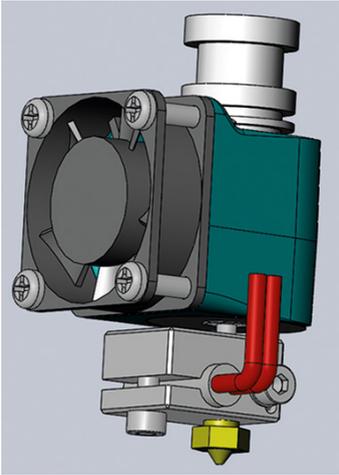


**Bild 2.2** Düse, Heizblock, Heizelement und Thermoresistor (von links nach rechts)

Unterhalb des Wärmediffusors befindet sich der Heizblock mit dem Heizelement. Erst dort wird das Filament geschmolzen. Über ein Heizelement wird die Wärmeenergie in den Heizblock gebracht. Mit einem Thermoresistor wird die Temperatur ermittelt. Auf diese Weise kann die gewünschte Temperatur genau über das Druckprogramm eingestellt werden.



**Bild 2.3** Hotend mit Wärmediffusor

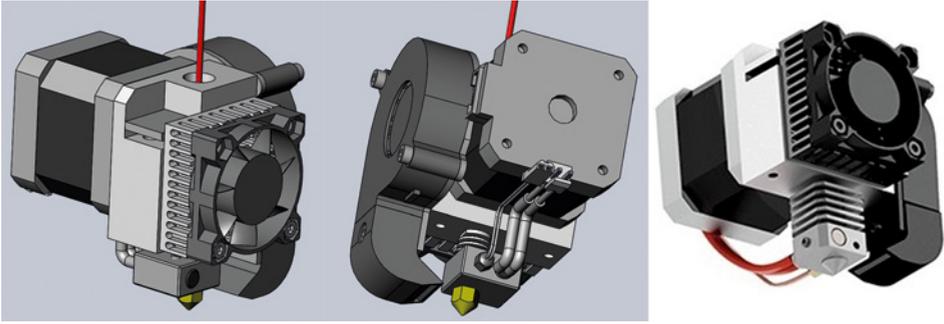


**Bild 2.4** Hotend mit Wärmediffusor und Ventilator

Am unteren Ende des Heizblocks befindet sich die Druckdüse. Übliche Düsendurchmesser bewegen sich zwischen 0,3 mm und 0,5 mm. Damit das verdruckte Filament schneller erstarrt, befindet sich an manchen Hotends ein weiterer Ventilator mit einer kleinen Umlenkdüse.



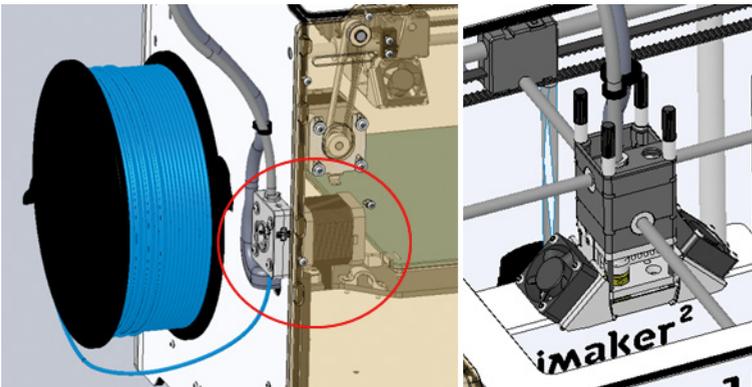
**Bild 2.5** Explosionsdarstellung eines Extruders mit Hotend (Druckermodell: BQ)



**Bild 2.6** Extruder mit Hotend (Druckermodell: BQ)

### Besonderheit bei Extrudern

Bei den meisten 3D-Druckern ist das Hotend direkt am Extruder befestigt (Direct Extruder). Es gibt aber auch 3D-Drucker, bei denen das Hotend vom Extruder getrennt ist. Das heißt, der Extruder sitzt fest am Gehäuse und fördert in einem Teflonschlauch das Filament in das Hotend. Diese Form von Filament-Förderung wird Bowden-Extruder genannt. Der Bowden-Extruder hat den großen Vorteil, dass das bewegte Gewicht wesentlich geringer ist als beim Direct Extruder (der Gewichtsunterschied kann durchaus 0,5 kg betragen). Damit sind höhere Beschleunigungen und somit auch höhere Druckgeschwindigkeiten möglich. Ein kleiner Nachteil des Bowden-Extruders ist das Nachtropfen des Filaments, wenn das Hotend ohne zu drucken zu einer anderen Druckposition fährt. Dies führt in der Regel zu Fadenbildung. Mithilfe der Drucker-Software und ein wenig Erfahrung kann man allerdings den Filament-Einzug (*Retract*) optimieren und dieses Problem gut in den Griff bekommen. Für flexible Filamente ist der Bowden-Extruder praktisch nicht geeignet. Die Firma Ultimaker bietet 3D-Drucker auf Basis der Bowden-Technologie an.



**Bild 2.7** Bowden-Extruder auf der Rückseite des 3D-Druckers (links); Hotend eines 3D-Druckers mit Bowden-Extruder (rechts)

## Druckplatte

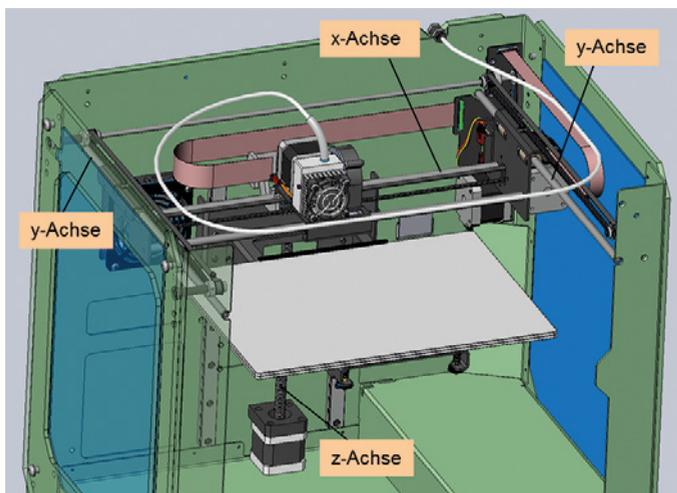
Die Druckplatte besteht üblicherweise aus einer glatt geschliffenen Aluminiumplatte oder aus Glas. Es gibt Kunststoffe (z. B. ABS), die sich beim Abkühlen leicht zusammenziehen und sich dann von der Druckplatte lösen können (*Warping*). Abhilfe schafft ein unter der Aluminiumplatte (die ein guter Wärmeleiter ist) befestigtes Heizbett. So wird während des gesamten Drucks die Wärme auf der Druckplatte gehalten und der Warping-Effekt kann verhindert werden. Andere Kunststoffe (z. B. PLA) haben einen sehr geringen Warping-Effekt und benötigen deshalb keine beheizte Druckplatte.



**Bild 2.8** Druckplatte und Heizbett (Druckermodell: BQ)

## Positioniereinheit

Die Positioniereinheit eines kartesischen FDM-Druckers besteht aus drei senkrecht zueinander stehenden Lineareinheiten (x-, y- und z-Achse). Bild 2.9 zeigt die Funktionsweise eines typischen FDM-Druckers (z. B. Witbox oder MakerBot).

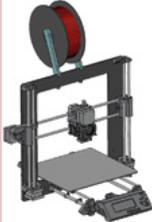
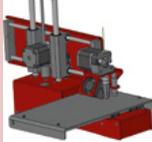
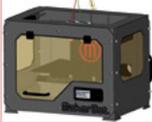
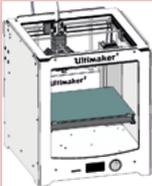


**Bild 2.9** Positioniereinheit, bestehend aus drei senkrecht zueinander stehenden Lineareinheiten (x-, y- und z-Achse)

Auf dem Führungswagen der Lineareinheit in x-Richtung befinden sich der Extruder mit dem Hotend und der Zahnriemenantrieb mit einem Schrittmotor. Diese Lineareinheit ist wiederum auf der Lineareinheit in y-Richtung montiert. Das bedeutet, dass der Schrittmotor der y-Achse die gesamte Last der Lineareinheit der x-Achse (mit Extruder, Hotend und Schrittmotor) mitbewegen muss. Die Lineareinheit der z-Achse zum Bewegen der Druckplatte besteht aus zwei Schienen und einem Spindeltrieb mit Schrittmotor.

Der größte Unterschied zwischen den verschiedenen Modellen von FDM-Druckern liegt in der Positioniereinheit. Um ein Bauteil zu drucken, muss der Extruder bezüglich des Bauteils in drei Richtungen bewegt werden. Dies erreicht man, indem die Druckplatte und der Extruder positioniert werden. Daraus ergeben sich die unterschiedlichsten Kombinationen, welche in Tabelle 2.1 zusammengefasst sind.

**Tabelle 2.1** Verschiedene Positioniermechanismen von FDM-Druckern

Bewegtes Element	Bewegungsrichtung				
<b>Druckkopf</b>	z	xz	yz	xy	xzy
<b>Druckplatte</b>	xy	y	x	z	-
<b>Hersteller</b>	 Multec	 Hephestos, Prusa	 Printrbot	 MakerBot  Witbox  Ultimaker	 Delta
x: rechts-links; y: vorne-hinten (beide horizontal); z: oben-unten (vertikal)					

Eine Besonderheit unter den FDM-Druckern ist der Delta-Drucker. Dieser hat drei senkrecht stehende und in 120° angeordnete Führungsschienen. Auf jeder Schiene

wird ein Führungswagen mit einem eigenen Antrieb bewegt. Von jedem der drei Führungswagen führt ein Arm zu einer Halterung, auf der das Hotend befestigt ist. Der Extruder sitzt meist außen am Gehäuse (Bowden-Extruder).

## ■ 2.3 Auswahlkriterien zur Anschaffung eines 3D-Druckers

Es gibt heutzutage schon 3D-Drucker für weniger als 400 Euro, die akzeptable Teile drucken können. Taugt ein solcher 3D-Drucker für den Privatgebrauch? Die Antwort ist: Jein. Zunächst einmal sollte man sich darüber im Klaren sein, aus welchem Grund man sich den 3D-Drucker anschaffen möchte. Sucht man nach einem Hobby, bei dem man selbst Teile für den Alltagsgebrauch entwickeln kann? Oder soll dem 12-jährigen Sohn mit dem 3D-Drucker eine Ingenieurskarriere schmackhaft gemacht werden?

Bei der großen Anzahl an Herstellern fällt die Auswahl eines 3D-Druckers nicht leicht. Ein wichtiges Kriterium ist der Preis. Die teuren Geräte sind ihr Geld meist wert, wenn man den 3D-Drucker viel nutzt und vielleicht auch kommerziell einsetzt. Für den Hobby-/Privatgebrauch sind die mittel- bis niedrigpreisigen Geräte hervorragend geeignet. Eine weitere Möglichkeit, relativ günstig an ein Gerät zu kommen, ist ein 3D-Drucker zum Selbstbauen (DIY). Dieser bietet außerdem den Vorteil, dass man Erfahrung in Bereichen wie Mechanik und Elektronik sammelt (z. B. durch die Justierung der Mechanik und des Druckkopfes). Mir hat das derart Spaß gemacht, dass ich mir nach dem ersten erfolgreichen Zusammenbau eines DIY-3D-Drucker-Bausatzes einen eigenen Drucker konstruierte.

### **Anzahl der Druckköpfe (Extruder)**

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl eines 3D-Druckers ist die Anzahl der Druckköpfe. Mit einem Druckkopf kann man nur einfarbig drucken. Mit ein wenig Aufwand ist es möglich, mehrere Farben übereinander zu drucken, aber nicht nebeneinander. Dafür benötigt man einen zweiten Druckkopf. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für zwei Druckköpfe ist das Verdrucken von wasserlöslichem PVA als Stützmaterial (*Support*) für zu druckende Überhänge. Es gibt auch 3D-Drucker mit vier und mehr Druckköpfen für Menschen, die vielfarbig drucken möchten.

### **Verdruckbare Materialien**

Beim Kauf eines 3D-Druckers sollte außerdem die Frage des Druckmaterials geklärt sein, was indirekt auch das Heizbett betrifft. Druckmaterialien wie PLA und

PETg benötigen kein Heizbett, für ABS hingegen ist eines notwendig. Da ABS beim Verdrucken Gifte absondert, sollte dieses Material in geschlossenen Räumen (insbesondere in Kinderzimmern) nicht eingesetzt werden.

### **Druckraum**

Natürlich spielt auch der Druckraum eine große Rolle. Meines Erachtens ist eine große Druckfläche wichtiger als eine große Druckhöhe. Ein gutes Druckbett hat die Maße 200 × 300 mm, eine sinnvolle Druckhöhe ist 200 mm.

### **Positioniergenauigkeit**

Mit der Positioniergenauigkeit wird ausgedrückt, wie genau der Extruder in der horizontalen Ebene (x- und y-Richtung) angesteuert werden kann. Dieser Wert sollte bei 0,05 mm (oder darunter) liegen, damit ein möglichst detailgetreues Druckergebnis erzielt werden kann.

### **Minimale Schichthöhe**

Die minimale Schichthöhe gibt an, wie hoch die maximale Auflösung in vertikaler Richtung (z-Richtung) ist. Selbstverständlich gilt auch hier: Je kleiner der Wert, desto höher die Detailgenauigkeit. Die minimale Schichthöhe sollte nicht höher als 0,1 mm sein.

### **Maximale Druckgeschwindigkeit**

Normalerweise wird nicht mit der maximalen Geschwindigkeit gedruckt. Die optimale Druckgeschwindigkeit bei kleinen Druckobjekten liegt bei ca. 40 mm/s und darunter. Bei großen Teilen kann man mit über 60 mm/s gute Ergebnisse erzielen. Die Druckgeschwindigkeit ist natürlich auch abhängig vom Druckmaterial.

Die Verfahrgeschwindigkeit ist definiert durch die Geschwindigkeit, mit welcher der Extruder, ohne zu drucken, bewegt wird. Die Verfahrgeschwindigkeit darf bedeutend höher sein als die Druckgeschwindigkeit, kann allerdings nicht höher sein als die vom Hersteller angegebene maximale Druckgeschwindigkeit. Die maximale Druckgeschwindigkeit sollte nicht über 150 mm/s liegen.

### **Düsendurchmesser**

Der Standard-Düsendurchmesser liegt bei 0,4 mm. Für kleine und filigrane Objekte können auch Düsen mit einem Durchmesser von 0,2 mm eingebaut werden. Für große Objekte reicht eine Düse mit einem Durchmesser von 1,0 mm. Die maximale Schichthöhe sowie die maximale Druckgeschwindigkeit sind abhängig von Düsendurchmesser (Tabelle 2.2).