

#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



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

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

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Melanie Zinsler

Titelmotiv: © Stephan Regele

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, 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

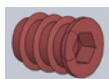
ePub-ISBN: 978-3-446-47790-2



Für Elena und Carmen

Inhalt

1	Einführung	1
2	Schnelleinstieg in den 3D-Druck	5
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
3	3D-Druck-Grundlagen	25
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
4	Verbindung von 3D-Druckteilen	64
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

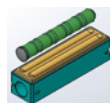


5	Puzzle	98	
5.1	Übersicht der benötigten Teile	98	
5.2	Druckeinstellungen für das Puzzle	99	
5.3	Hinzufügen von Mund und Augen	100	
5.4	Nachdruck eines einzelnen Puzzleteils	100	
6	USB-Stick	103	
6.1	USB-Stick mit Smiley-Gehäuse (Variante 1)	103	
6.1.1	Übersicht der benötigten Teile	104	
6.1.2	Druckeinstellungen 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	
7	Tragegriffe für Tüten und Taschen	125	
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	

	8 Nussknacker 134
	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
	9 Zubehör für elektronische Geräte 146
	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
	10 Fruchtfliegenfalle 161
	10.1 Übersicht der benötigten Teile 163
	10.2 Probedruck der Abdeckung 164
	10.3 Endgültiger Druck der Abdeckung 165
	10.4 Zubereitung des Fruchtfliegenköders 166
	11 Hamburgerpresse 169
	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 Teile179
- 12.2 Druckeinstellungen für den Behälter.....180
- 12.3 Druckeinstellungen für den Stift181
- 12.4 Anfertigung der Holzplatte.....183
- 12.5 Zusammenbau des Mückenstichheilers.....183
- 12.6 Gebrauchsanweisung zur Verwendung des Mückenstichheilers185



13 Blumenvase.....186

- 13.1 Übersicht der benötigten Teile187
- 13.2 Druckeinstellungen für das Gestell188
- 13.3 Druckeinstellungen für den Halter.....191
- 13.4 Druckeinstellungen für das Etikett.....191
- 13.5 Nachbearbeitung des Etiketts193



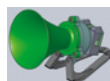
14 Brillengestell.....196

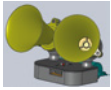
- 14.1 Übersicht der benötigten Teile198
- 14.2 Druckeinstellungen für den Brillenrahmen198
- 14.3 Druckeinstellungen für die Bügel.....200
- 14.4 Druckeinstellungen für die Scharniere204
- 14.5 Zusammenbau des Brillengestells205
- 14.6 Einfügen der Brillengläser206



15 MP3-Player.....208

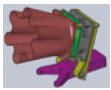
- 15.1 MP3-Player (Mono).....208
 - 15.1.1 Übersicht der benötigten Teile211
 - 15.1.2 Zusammenbau des MP3-Players (Mono)212
 - 15.1.3 Druckteile des MP3-Players (Mono)213
 - 15.1.4 Druckeinstellungen für den Halter214
 - 15.1.5 Druckeinstellungen für die Box.....215
 - 15.1.6 Druckeinstellungen für die Taste217
 - 15.1.7 Druckeinstellungen für den Deckel.....217
 - 15.1.8 Druckeinstellungen für den Lautsprecherhalter218
 - 15.1.9 Druckeinstellungen für das Horn221



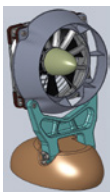


15.2	MP3-Player (Stereo) . . . . .	.222
15.2.1	Übersicht der benötigten Teile . . . . .	.223
15.2.2	Zusammenbau des MP3-Players (Stereo) . . . . .	.225
15.2.3	Schaltplan des MP3-Players (Stereo). . . . .	.225
15.2.4	Druckteile des MP3-Players (Stereo). . . . .	.227
15.2.5	Druckeinstellungen für das Horn . . . . .	.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



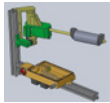

16 Tischventilator. 233



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	
17	Alarmvorrichtung zum Erkennen von Filament-Problemen	279	
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	
18	Geige	297	
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
19	Uhrenbeweger	328
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
	Index	365



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 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 Apparatus¹) 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.

¹ 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 Thermoplast² (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).

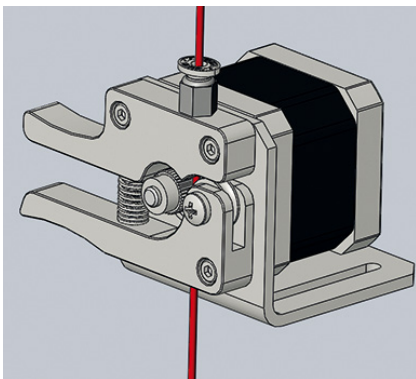


Bild 2.1 Extruder

² 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.

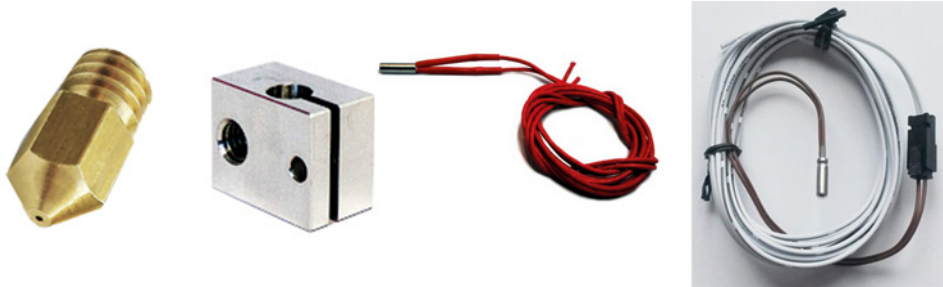


Bild 2.2 Düse, Heizblock, Heizelement und Thermoresistor (von links nach rechts)

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.

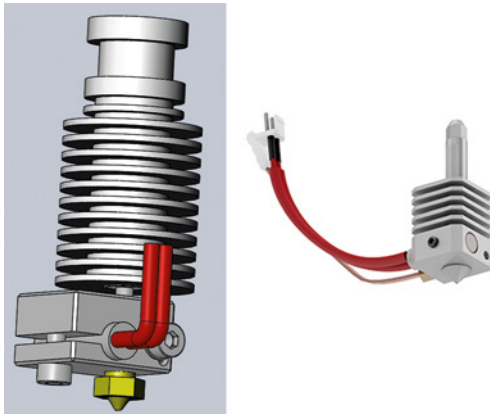


Bild 2.3 Hotend mit Wärmediffusor

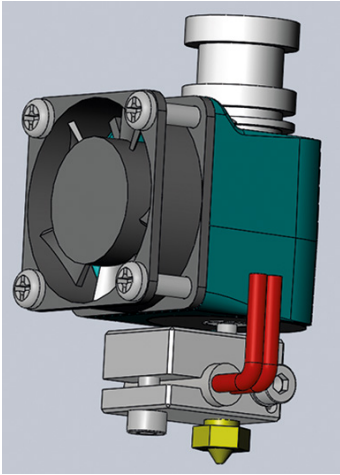


Bild 2.4 Hotend mit Wärmediffusor und Ventilator

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)

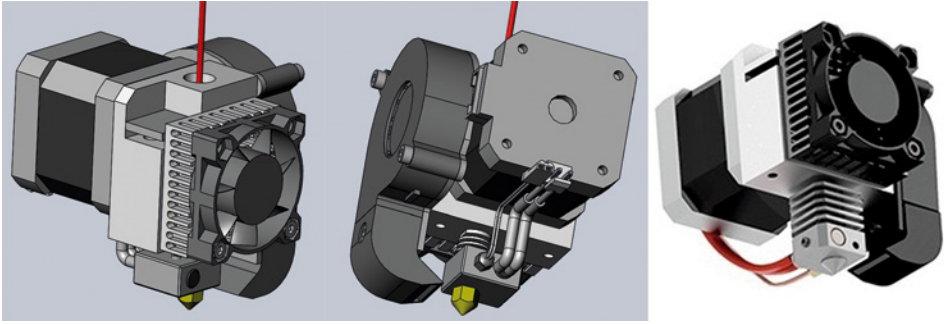


Bild 2.6 Extruder mit Hotend (Druckermodell: BQ)

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.

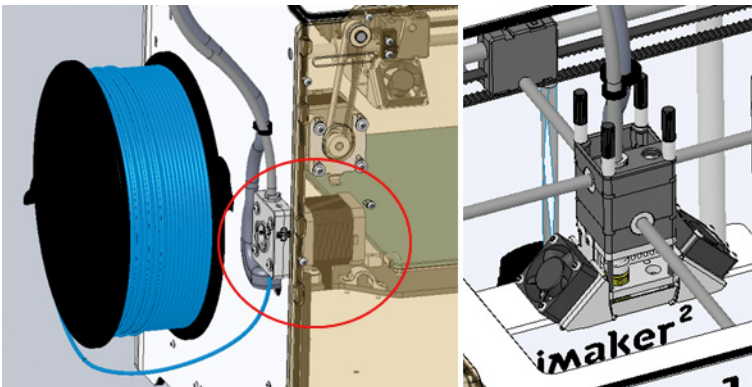


Bild 2.7 Bowden-Extruder auf der Rückseite des 3D-Druckers (links); Hotend eines 3D-Druckers mit Bowden-Extruder (rechts)

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).

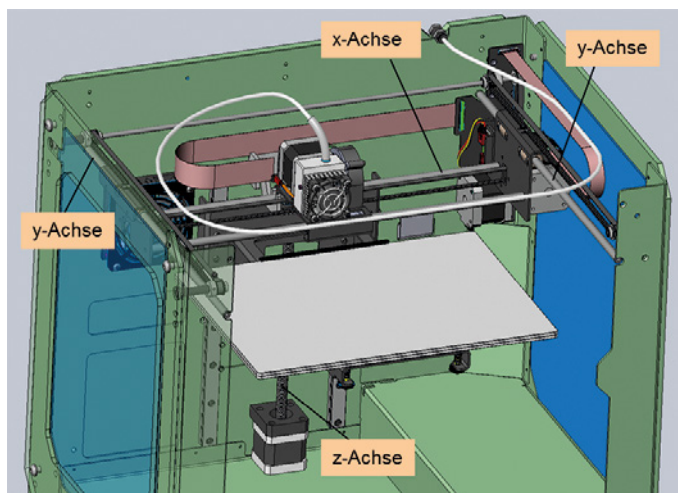
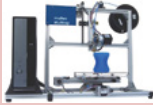
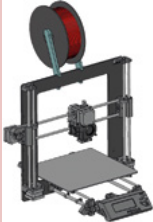
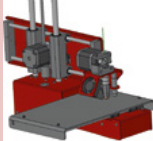
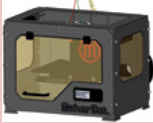

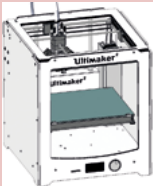



Bild 2.9 Positioniereinheit, bestehend aus drei senkrecht zueinander stehenden Lineareinheiten (x-, y- und z-Achse)

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				
Druckkopf	z	xz	yz	xy	xzy
Druckplatte	xy	y	x	z	-
Hersteller	 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).

Tabelle 2.2 Maximale Schichthöhe und Druckgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Düsendurchmesser

Düsendurchmesser [mm]	Maximale Schichthöhe ¹⁾ [mm]	Maximal empfohlene Druckgeschwindigkeit mit PLA [mm/s]
0,2	0,15	40 ²⁾
0,3	0,25	60 ²⁾
0,4	0,30	80
0,5	0,38	80
0,6	0,45	80
0,8	0,60	60
1,0	0,75	40

¹⁾ rechnerischer Zusammenhang: max. Schichthöhe = 0,75 · Düsendurchmesser
²⁾ Da bei kleinen Düsen der Druck im Hotend sehr hoch wird, ist die maximale Druckgeschwindigkeit begrenzt.

Filamentdurchmesser

Für den Heim-Standarddrucker sind folgende zwei Filament-Durchmesser üblich: 1,75 mm und 2,85 mm. Der Extruder kann nur mit einem der beiden Filament-Durchmesser versorgt werden. Deshalb ist schon beim Kauf des Druckers darauf achten, welcher der beiden Filamenttypen verdruckt werden kann. Laut meiner Erfahrung ist das Verdrucken des dünneren Filaments einfacher, da es flexibler ist und dadurch weniger zum Brechen neigt. Die meisten Hersteller von 3D-Druckern fertigen deshalb nur noch Extruder für den kleinen Filament-Durchmesser von 1,75 mm an.



Unter <https://3Druck.com/3D-drucker-liste> findest du eine Übersicht der wichtigsten 3D-Drucker auf dem Markt.

■ 2.4 Druckmaterialien

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Druckmaterialien. Sie unterscheiden sich vor allem in ihren thermischen und physikalischen Eigenschaften. So hat jedes Material sein eigenes Einsatzgebiet. Im Folgenden werden die am häufigsten eingesetzten Druckmaterialien vorgestellt.

2.4.1 PLA

PLA steht für Polyactide (auch Polymilchsäuren genannt) und wird üblicherweise aus regenerativen Rohstoffen wie Maisstärke erzeugt. Es gehört zu den beliebtesten und meist verwendeten Druckmaterialien im Heimanwenderbereich. Es ist praktisch geruchlos beim Druck und kann ohne Heizbett verdruckt werden. Eine Schwäche von PLA ist niedrige Glastemperatur von etwa 55 °C. Oberhalb dieser Temperatur gibt das Material seinen inneren Spannungen nach und deformiert sich. Vom Einsatz gedruckter PLA-Teile im Auto ist daher abzuraten. PLA sollte auch nicht in Kontakt mit Lebensmitteln treten. Nicht, weil es Gifte abgibt, sondern weil PLA Feuchtigkeit aufnimmt und so ein Herd für Bakterien sein kann. Das ewige Argument, dass PLA biologisch abbaubar sei, da es aus regenerativen Rohstoffen hergestellt wird, muss relativiert werden, denn sonst würden die Druckteile ja schon nach wenigen Jahren verrotten, was sie nicht tun. Für die Abbaubarkeit des PLAs sind industrielle Kompostieranlagen notwendig. In der Natur wird sich PLA nicht zersetzen.

2.4.2 ABS

ABS basiert auf Erdöl und ist für den Einsatz von Druckteilen geeignet, die mit hohen Temperaturen gedruckt werden müssen (Glastemperatur: 85 °C). Beim Druck von ABS muss unbedingt auf gute Belüftung geachtet werden. Die beim Schmelzen auftretenden Dämpfe (als scharfer Geruch wahrzunehmen) gelten als gesundheitsschädlich.

Das größte Problem beim Verdrucken von ABS ist das Ablösen des Druckteils vom Druckbett (*Warping*). Warping entsteht aufgrund unterschiedlicher Abkühlgeschwindigkeiten in benachbarten Druckschichten. ABS schrumpft beim Abkühlen sehr viel stärker als PLA. Daher ist ein beheiztes Druckbett unabdingbar. In Abschnitt 3.2.4 werden weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Warping-Effekten beschrieben.

Eine Oberflächenveredelung mit Aceton ist möglich. Acetondämpfe schmelzen die ABS-Oberflächen und glätten diese. Bekannteste ABS-Erzeugnisse sind Lego und Playmobil.

2.4.3 PLA und ABS im Vergleich

Im direkten Vergleich lassen sich folgende Unterschiede zwischen PLA und ABS festhalten:

- PLA-Druckteile sind starrer als ABS-Druckteile.
- PLA ist weniger verformungsanfällig als ABS (hat also einen geringeren Verzug). Damit verbunden ist ein höheres Haftungsvermögen auf der Druckplatte.

Die Gefahr, dass sich ein Druckteil von der Druckplatte ablöst, ist demnach geringer.

- PLA kann im Gegensatz zu ABS ohne Heizbett verdruckt werden.
- ABS ist härter als PLA. Bei Biegebeanspruchungen ist PLA spröder als ABS. Damit verbunden ist eine höhere Bruchgefahr.
- PLA hat eine höhere UV-Beständigkeit als ABS.
- ABS ist hitzebeständiger als PLA.
- PLA ist schwer entzündlich. ABS brennt sehr schnell und raucht dabei sehr stark.
- ABS sollte nicht in geschlossenen Räumen verdruckt werden.
- Sowohl ABS als auch PLA sollten nicht in Kontakt mit Lebensmitteln kommen.
- PLA und ABS kosten mittlerweile gleich viel (ca. 20 Euro pro Kilogramm Filament).

2.4.4 PETg

PETg besitzt die positiven Eigenschaften von ABS und PLA. Es ist resistent gegen viele Chemikalien und es ist schwer entflammbar. PETg nimmt sehr wenig Wasser auf und ist unter anderem auch deshalb lebensmittelecht. Durch die hohe Glastemperatur von 70 °C können PETg-Druckteile auch in der Spülmaschine gereinigt werden. Das bekannteste aus PETg gefertigte Produkt sind Plastikgetränkeflaschen. Die Kosten für PETg liegen bei ca. 30 Euro pro Kilogramm Filament.

2.4.5 PVA

PVA ist ein erdölbasierter, wasserlöslicher Kunststoff. Die einzig sinnvolle Funktion von PVA ist, dass es als Stützmaterial (*Support*) verdruckt werden kann. Dafür benötigt man einen 3D-Drucker mit mindestens zwei Extrudern (auch Dual-Drucker genannt). Das lästige Entfernen des Stützmaterials sowie die Nachbearbeitung der abgestützten Flächen entfallen dann komplett. Das fertig gedruckte Teil muss lediglich in Wasser eingelegt werden, bis sich das Stützmaterial vollkommen aufgelöst hat. Da PVA viel Wasser aufnimmt, sollte das Filament gut vor Feuchtigkeit geschützt werden. PVA ist das teuerste aller aufgeführten Materialien (ca. 80 Euro pro Kilogramm Filament).

2.4.6 TPE

TPE ist ein flexibles, thermoplastisches Elastomer. Es verformt sich elastisch unter Belastung und nimmt anschließend wieder seine Ursprungsform an. TPE ist ein

guter elektrischer Isolator, besitzt gute Schalldämmeigenschaften und besitzt eine hohe Beständigkeit gegenüber Ölen und Fetten.

2.4.7 Die wichtigsten Druckmaterialien im Vergleich

Tabelle 2.3 zeigt die mechanischen und chemischen Eigenschaften der vorgestellten Druckmaterialien im Vergleich.

Tabelle 2.3 Druckmaterialien im Vergleich

Untersuchte Eigenschaft	Druckmaterial				
	PLA	ABS	PETg	PVA	TPE
Glastemperatur*)	50 – 65 °C	95 °C	70 – 75 °C	55 °C	95 °C
Erweichungstemperatur	60 – 70 °C	110 – 125 °C	80 °C		110 – 125 °C
Schmelztemperatur	190 – 210 °C	210 – 240 °C	200 – 230 °C	160 – 180 °C	210 – 240 °C
Drucktemperatur	190 – 220 °C	230 – 250 °C	235 – 240 °C	190 – 210 °C	220 – 250 °C
Druckbetttemperatur	nicht nötig	notwendig (0 – 120 °C)	nicht nötig (70 – 85 °C)	nicht nötig (besser 50 °C)	nicht nötig (30 – 60 °C)
Dichte [g/cm ³]	1,21 – 1,43	1,04	1,38	1,19 – 1,31	1,15
Zugfestigkeit [N/mm ²]	10 – 60	32 – 56			
E-Modul [N/mm ²]	3500	2300	4500		
Bruchdehnung [%]	6	8 – 10	4 – 6		8 – 10
Bruchfestigkeit [N/mm ²]	60	70			
Druckgeschwindigkeit	hoch	hoch	hoch	niedrig	niedrig
lebensmittelecht	bedingt	nein	ja	wasserlöslich	nein
Sonstiges				Dualdrucker nötig	flexibel, weich
Warping-Effekt	gering	hoch	gering bis mittel	gering	gering
Feuchtigkeitsaufnahme	mäßig	gering	keine	sehr hoch	
Witterungsbeständigkeit	mäßig	hoch	hoch	niedrig	hoch
UV-Beständigkeit	hoch	mäßig	hoch		hoch

*) Unterhalb dieser Temperatur ist der Kunststoff formstabil.

Abschließend möchte ich noch darauf hinweisen, dass es eine große Anzahl von exotischen Filament-Materialien gibt, die ich an dieser Stelle nur erwähnen, aber nicht detaillierter vorstellen möchte. Dazu zählen:

- mit Holz vermischte Filamente (z. B. mit Holzfasern vermisches PLA)
- mit Metall vermischte Filamente (z. B. mit Messing-, Kupfer- oder Bronzepulver vermisches PLA oder ABS; 50 – 85 % Metallanteil)
- leitende Filamente (z. B. mit Metallpulver vermisches PLA oder ABS für Niederspannungs-Schaltkreis-Anwendungen)
- mit Kohlefaser vermischte Filamente (z. B. PLA oder ABS)

■ 2.5 Datenerstellung und -aufbereitung für den Druck

3D-Druck ist ein Hobby für kreative Köpfe. Anfangs greift man gerne auf bestehende und kostenlose Druckvorlagen aus dem Netz zurück, doch irgendwann ist die Vitrine voll mit nachgedruckten Objekten, und man entwickelt das Bedürfnis, selbst erdachte Teile zu entwickeln.













Nun kommt eine weitere Komponente ins Spiel: die Konstruktion der Druckteile. Alle Druckverfahren haben eines gemeinsam: Man benötigt ein digitales, dreidimensionales Modell des zu fertigenden Objekts. Dieses Modell erstellt man mithilfe eines CAD-Programms. Im Netz gibt es viele kostenlose CAD-Programme. Diese sind schnell heruntergeladen, aber das Selbsterlernen der vielen Funktionen kann für konstruktiv Unerfahrene eine ziemliche Herausforderung darstellen. Man kann dabei schnell an seine Grenzen gelangen. Man sollte sich dennoch bewusst machen, dass die Realisierung eigener Objekte nicht ohne ein CAD-Programm umzusetzen ist. Erst dann macht es richtig Spaß und der 3D-Drucker kann voll ausgereizt werden.







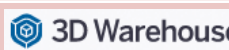


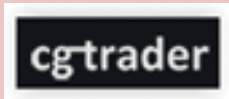


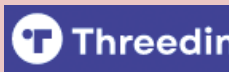


Nach dem Konstruktionsprozess speichert man sein CAD-Modell im stl-Dateiformat ab. Dieses Format ist eine Standardschnittstelle und erzeugt geometrische Informationen des 3D-Modells für die additive Fertigung. Im nächsten Schritt benötigt man ein Programm, welches das Modell für den 3D-Druck aufbereitet. Diese sogenannten Slicer-Programme (oder Druckprogramme) schneiden das Modell in dünne Scheiben (*Slices*). In jeder Scheibe (= Druckschicht) wird der optimale Verfahrensweg des Druckkopfes erzeugt. Im Slicer-Programm können Parameter wie Druckgeschwindigkeit, Extrusionstemperatur, ggf. Druckbetttemperatur und viele weitere Einstellungen, welche die Druckqualität beeinflussen, vorgenommen werden. Dann speichert man die Druckinformationen im G-Code-Format ab. Es handelt sich dabei um eine Textdatei, die sämtliche Druckdaten beinhaltet. Danach übergibt man dem Drucker die G-Code-Datei via USB-Kabel oder SD-Karte. Erst jetzt kann der 3D-Drucker das gewünschte Druckteil erzeugen.

2.5.1 Content-Plattformen

Es gibt eine ganze Reihe von Content-Plattformen, auf denen Druckvorlagen kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Die meisten Modelle werden nur im stl-Format veröffentlicht, sodass man an den Modellen keine nachträglichen Änderungen vornehmen kann. So bleibt einem nur die Möglichkeit, das Teil 1:1 zu drucken. Oder man lässt sich inspirieren und kopiert das Modell mit einem CAD-Programm, um es auf diese Weise zu verändern. Tabelle 2.4 zeigt die wichtigsten Content-Plattformen, welche Druckvorlagen zum Download anbieten, und auf denen man sich inspirieren lassen kann.

Tabelle 2.4 Auswahl von Content-Plattformen

Content-Plattform		Webseite
MakerBot Thingiverse		https://www.thingiverse.com
MyMiniFactory		https://www.myminifactory.com
yeggi		https://www.yeggi.com
CHIP		https://www.chip.de/download/75416_3D-Vorlagen/wochen-charts
threedom		https://threedom.de/3d-druck-ratgeber/3d-drucker-vorlagen-3d-drucker-modelle-kostenlos
Pinshape		https://pinshape.com
All3DP		https://all3dp.com/printables
3DRUCK.com		https://3druck.com/3d-druck-vorlagen
GrabCAD		https://grabcad.com/library beeindruckende Teilesammlung, viele druckbare Teile
XYZprinting		http://www.xyzprinting.com/de-DE/home
YouMagine		https://www.youmagine.com
STLfinder		https://www.stlfinder.com

Content-Plattform		Webseite
Cults.		https://cults3D.com/en
3DExport		https://de.3dexport.com
Zortrax Library		http://library.zortrax.com
Instructables		http://www.instructables.com
NIH 3D Print Exchange		https://3Dprint.nih.gov
NASA		https://nasa3D.arc.nasa.gov/models/printable https://nasa3d.arc.nasa.gov/models
3D Warehouse		https://3dwarehouse.sketchup.com/?hl=de
Walltosh Design		https://cults3d.com/en/users/WallTosh/creations
Free3D		https://free3D.com
CGTrader		https://www.cgtrader.com
Printables		https://www.printables.com/de/model
PARTcommunity		https://b2b.partcommunity.com/community eher für Konstrukteure geeignet
Threeding		https://www.threeding.com
Libre 3D		https://libre3d.com/categories/3d-models
DownloadFree3D		https://downloadfree3d.com/category/3d-printing-models

2.5.2 CAD-Programme








Für den Fall, dass man noch keine Konstruktionserfahrung besitzt, sollte man das CAD-Programm mit Bedacht auswählen. Ein Kriterium sind die im Netz vorhandenen Anleitungen und Video-Tutorials. Sind diese in großer Zahl vorhanden, kann man die Funktionen des Programms auf einfache und schnelle Weise erlernen. Trotzdem sollte man den Aufwand, sich in ein 3D-Programm einzuarbeiten, nicht unterschätzen.



Solltest du mehr über das Konstruieren von CAD-Modellen für 3D-Druck & Co. erfahren wollen, dann kann ich dir das Buch *CAD für Maker* von Ralf Steck (2. Auflage, Carl Hanser Verlag 2017, ISBN 978-3-446-45 681-5) empfehlen.

Tabelle 2.5 zeigt eine Auswahl von empfehlenswerten CAD-Programmen.

Tabelle 2.5 Auswahl von CAD-Programmen

CAD-Software		Webseite
3D Slash		https://www.3Dslash.net
Tinkercad		https://www.tinkercad.com importiert unter anderem STEP-Formate
FreeCAD		http://freecadweb.org importiert unter anderem STEP-Formate
SketchUp		https://www.sketchup.com/plans-and-pricing/sketchup-free importiert unter anderem STEP-Formate
OpenSCAD		http://www.openscad.org
LibreCAD		https://librecad.org
Blender		https://www.blender.org importiert unter anderem STEP-Formate