



Thomas  
Kaffka

2. Auflage

# 3D-Druck

Praxisbuch für Einsteiger

Modellieren | Scannen | Drucken | Veredeln

Projektdateien  
aller 3D-Modelle  
zum Download



## **Hinweis des Verlages zum Urheberrecht und Digitalen Rechtemanagement (DRM)**

Der Verlag räumt Ihnen mit dem Kauf des ebooks das Recht ein, die Inhalte im Rahmen des geltenden Urheberrechts zu nutzen. Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Verlag schützt seine ebooks vor Missbrauch des Urheberrechts durch ein digitales Rechtemanagement. Bei Kauf im Webshop des Verlages werden die ebooks mit einem nicht sichtbaren digitalen Wasserzeichen individuell pro Nutzer signiert.

Bei Kauf in anderen ebook-Webshops erfolgt die Signatur durch die Shopbetreiber. Angaben zu diesem DRM finden Sie auf den Seiten der jeweiligen Anbieter.

Neuerscheinungen, Praxistipps, Gratiskapitel,  
Einblicke in den Verlagsalltag –  
gibt es alles bei uns auf Instagram und Facebook



[instagram.com/mitp\\_verlag](https://www.instagram.com/mitp_verlag)



[facebook.com/mitp.verlag](https://www.facebook.com/mitp.verlag)



Thomas Kaffka

# 3D-Druck

## Praxisbuch für Einsteiger



### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

ISBN 978-3-7475-0211-2

2. Auflage 2020

[www.mitp.de](http://www.mitp.de)

E-Mail: [mitp-verlag@sigloch.de](mailto:mitp-verlag@sigloch.de)

Telefon: +49 7953 / 7189 - 079

Telefax: +49 7953 / 7189 - 082

© 2020 mitp Verlags GmbH & Co. KG, Frechen

Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt 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 benutzt werden dürften.

Lektorat: Janina Bahlmann

Sprachkorrektur: Simone Fischer, Petra Heubach-Erdmann

Coverbild: © jean song / fotolia.com

Satz: III-satz, Husby, [www.drei-satz.de](http://www.drei-satz.de)

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Einleitung</b> .....	11
<b>Teil I</b>	<b>Einführung in den 3D-Druck</b> .....	13
<b>1</b>	<b>3D-Druck heute</b> .....	15
1.1	Automobilindustrie.....	15
1.2	Schmuck.....	15
1.3	Architektur.....	16
1.4	Textilindustrie.....	17
1.5	Kunst.....	18
1.6	Raumstation ISS.....	18
<b>2</b>	<b>Der 3D-Drucker</b> .....	21
2.1	Der 3D-Drucker, der zu Ihnen passt.....	21
2.1.1	Funktionsweise eines FDM-Druckers.....	21
2.1.2	Andere 3D-Druckverfahren.....	25
2.1.3	Kaufberatung (Features versus Preis).....	26
2.2	3D-Drucker »out of the box« aufbauen und kennenlernen.....	29
2.2.1	Sicherheits- und Betriebshinweise.....	30
2.2.2	Das erste Einschalten.....	31
2.3	Ablauf eines 3D-Druckprojekts.....	32
2.3.1	Erstellen des 3D-Modells.....	32
2.3.2	Vorbereiten des 3D-Modells für den Druck.....	32
2.3.3	Drucken des 3D-Modells.....	33
2.3.4	Nachbereitung (Finalisieren) des Objekts.....	33
2.4	Zusätzlich nötiges Zubehör.....	33
<b>3</b>	<b>3D-Modelle downloaden</b> .....	35
3.1	3D-Modelle aus dem Internet downloaden.....	35
3.2	MyMiniFactory.....	39
3.3	Thingiverse.....	41
<b>4</b>	<b>3D-Modelle mit Software erstellen</b> .....	45
4.1	Paint 3D.....	45

4.1.1	Überblick über Paint 3D. . . . .	45
4.1.2	Das Modell erstellen. . . . .	46
4.1.3	Fertige Modelle verwenden . . . . .	52
4.2	3D Builder . . . . .	52
4.2.1	Überblick über 3D Builder . . . . .	53
4.2.2	Bearbeitung eines 3D-Modells. . . . .	54
4.3	SketchUp Free . . . . .	59
4.3.1	Überblick über SketchUp Free . . . . .	59
4.3.2	Ein Modell mit SketchUp Free erstellen. . . . .	60
4.4	Blender . . . . .	64
4.4.1	Überblick über Blender . . . . .	64
4.4.2	Ein Modell mit Blender erstellen. . . . .	67
4.5	MakeHuman – Menschen modellieren. . . . .	75
4.5.1	Überblick über MakeHuman. . . . .	75
4.5.2	Mit MakeHuman ein Modell erstellen . . . . .	76
4.6	Alternative Programme . . . . .	79
<b>5</b>	<b>3D-Objekte einscannen. . . . .</b>	<b>83</b>
5.1	Überblick über verschiedene Scan-Verfahren . . . . .	83
5.1.1	Fotogrammetrie . . . . .	83
5.1.2	Infrarotscanner . . . . .	83
5.1.3	Streifenlichtscanner . . . . .	84
5.1.4	Laserscanner . . . . .	85
5.2	Objekt per Fotogrammetrie einscannen . . . . .	86
5.3	Objekt per Infrarotscanner einscannen . . . . .	92
5.3.1	Scanner Kinect for Xbox One. . . . .	92
5.3.2	Scanner Kinect for Xbox 360 . . . . .	97
<b>6</b>	<b>3D-Objekte drucken. . . . .</b>	<b>101</b>
6.1	Das Slicer-Programm . . . . .	101
6.2	Die verschiedenen Materialien . . . . .	106
6.3	Der 3D-Druck. . . . .	108
6.3.1	Vorbereitung des 3D-Druckers . . . . .	108
6.3.2	Der Druckvorgang . . . . .	110
6.3.3	Nachbereiten des 3D-Drucks . . . . .	112
6.4	Experimente mit den Druckparametern . . . . .	114
6.5	Entsorgung der Druckreste. . . . .	116
6.6	Troubleshooting. . . . .	117
6.6.1	Neues Filament wird eingesetzt . . . . .	117

6.6.2	PLA haftet nicht . . . . .	117
6.6.3	ABS haftet nicht . . . . .	118
6.6.4	3D-Objekt wird unsauber gedruckt. . . . .	118
6.6.5	Oberfläche des 3D-Objekts ist »hügelig« . . . . .	118
6.6.6	Flexibles Filement springt aus dem Material Feeder heraus . . . . .	118
6.6.7	Druckdüse verstopft. . . . .	119
6.7	3D-Druck im externen Druckshop. . . . .	120
6.7.1	3D-Druck im Internet . . . . .	120
6.7.2	Drucken an öffentlich zugänglichen 3D-Druckern . . . . .	120
7	<b>3D-Objekte veredeln (Finishing)</b> . . . . .	123
7.1	Vorbehandeln mit Dremel und Feile . . . . .	123
7.2	ABS-Objekte mit Aceton behandeln. . . . .	127
7.3	PLA-Objekte mit Heißluft behandeln . . . . .	128
7.4	Arbeiten mit Lackfarben . . . . .	128
7.5	Arbeiten mit Sprühfarbe aus der Dose . . . . .	130
<b>Teil II Projekte</b> . . . . .		133
8	<b>Rasierklingenhalter</b> . . . . .	135
8.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen . . . . .	135
8.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung . . . . .	140
8.3	Veredeln mit Feile . . . . .	141
9	<b>Trilobit</b> . . . . .	143
9.1	Download mit Paint 3D. . . . .	143
9.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung . . . . .	146
9.3	Veredeln mit Dremel, Farbe, Pinsel und Sprühfarbe. . . . .	148
10	<b>Kaffeetasse</b> . . . . .	149
10.1	3D-Modell mit Blender erstellen . . . . .	149
10.2	3D-Druck mit ABS mit Druckbettheizung . . . . .	158
10.3	Veredeln mit dem Dremel . . . . .	160
11	<b>Pinguin</b> . . . . .	163
11.1	3D-Modell mit Blender erstellen . . . . .	163
11.2	3D-Druck mit PLA mit Druckbettheizung und Stützmaterial. . . . .	172
11.3	Veredeln mit Feile und Farbe. . . . .	175

<b>12</b>	<b>Ersatzteil erstellen</b> .....	177
12.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen .....	177
12.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	182
12.3	Veredeln mit Feile .....	183
<b>13</b>	<b>Stilisierter griechischer Tempel</b> .....	185
13.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen .....	185
13.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	192
13.3	Veredeln mit Feile und Pinsel .....	194
<b>14</b>	<b>Menschliche Plastik</b> .....	195
14.1	Scannen in einem 3D-Druck-Studio .....	195
14.2	3D-Druck mit Gips in einem 3D-Druck-Studio .....	197
14.3	Nacharbeiten .....	198
<b>15</b>	<b>Büste von Napoleon Bonaparte</b> .....	199
15.1	Download von MyMiniFactory .....	199
15.2	3D-Druck mit ABS mit Druckbettheizung .....	201
15.3	Veredeln mit Kupferpulver .....	202
<b>16</b>	<b>Curiosity Rover</b> .....	207
16.1	Download von der Webseite der Nasa .....	207
16.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	209
16.3	Veredeln mit Dremel und Feile .....	214
<b>17</b>	<b>Zellulare Standlampe</b> .....	217
17.1	Download von Thingiverse .....	217
17.2	3D-Druck mit PLA (Kupfer-Optik) mit Druckbettheizung .....	219
17.3	Veredeln mit Modellierwerkzeug .....	221
<b>18</b>	<b>Der T-Rex Schädel</b> .....	223
18.1	Download von Thingiverse .....	223
18.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	225
18.3	Veredeln mit Dremel, Feile und Pinsel & Co. ....	227
	<b>Ausblick</b> .....	233
<b>A</b>	<b>Rechtliche Fragen beim 3D-Druck</b> .....	235
A.1	Darf ich Objekte nachdrucken und/oder verbreiten? .....	235
A.1.1	Urheberrecht .....	235
A.1.2	Designrecht .....	237
A.1.3	Markenrecht .....	238

A.1.4	Patentrecht/Gebrauchsmusterrecht . . . . .	238
A.1.5	Wettbewerbsrecht. . . . .	239
A.2	Was muss ich bei Lizenzen beachten? . . . . .	239
A.3	Wer haftet, wenn ein 3D-Objekt Schäden verursacht? . . . . .	241
<b>B</b>	<b>Glossar . . . . .</b>	<b>243</b>
<b>C</b>	<b>Downloads zum Buch . . . . .</b>	<b>247</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>249</b>



# Einleitung

Der 3D-Drucker ist eine Technologie, die im Moment immer bedeutender wird. Er wird bereits in vielen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt, ohne dass wir es jedes Mal merken. Im Jahre 1986 wurde das erste Patent für einen 3D-Drucker angemeldet. Aber erst 2009 kam der erste 3D-Drucker auf den Markt. Danach nahm die Entwicklung rasante Formen an. Heute befinden wir uns kurz vor der Schwelle zum Massenmarkt.

Man kann sich momentan noch nicht vorstellen, dass 3D-Drucker unser Zuhause einmal in der Fläche erobern werden. Aber das glaubte beim Computer, der Ende der 1970er-Jahre für den Hausgebrauch entwickelt wurde, auch kaum jemand. Heute befindet sich praktisch in jedem Haushalt ein Computer, mittlerweile häufig in Form eines Smartphones.

Ich sage voraus, dass der 3D-Drucker diese Karriere auch vor sich hat. Daher ist es klug, sich schon heute mit dieser Technologie anzufreunden.

Steigen Sie in Ihr neues Hobby ein und erfahren Sie in meinem Buch, wie ein 3D-Drucker eingesetzt werden kann. Dabei beziehe ich mich ausdrücklich nicht auf ein spezielles Produkt. Egal, welchen 3D-Drucker Sie besitzen oder welchen Sie sich anschaffen möchten, in diesem Buch erhalten Sie einen Überblick über die Technik, das Erstellen von 3D-Modellen, den Druck von 3D-Objekten, das Finalisieren dieser Objekte sowie konkrete Tipps zu vielen Druck-Projekten.

## Hinweis

Ich verwende übrigens die Ausdrücke *3D-Objekt* und *3D-Modell* so: Das 3D-Modell ist die digitale Datei und das 3D-Objekt das ausgedruckte Objekt. Damit möchte ich sprachlich zwischen einem Objekt, welches nur im Computer vorhanden ist, und einem Objekt in der realen Welt unterscheiden.

Im ersten Teil des Buches stelle ich den 3D-Druck in seinen technischen Aspekten vor. Ich beschreibe, wie 3D-Modelle erstellt, wie sie gedruckt und veredelt werden.

In *Kapitel 1* erfahren Sie anhand verschiedener Beispiele, wie der 3D-Druck bereits heute eingesetzt wird.

*Kapitel 2* behandelt die technische Seite des 3D-Druckers. Sie erfahren, aus welchen Teilen er besteht und wie diese zusammenwirken.

*Kapitel 3* stellt die Möglichkeit vor, 3D-Modelle aus dem Internet zu laden.

*Kapitel 4* geht auf die Erstellung von 3D-Modellen ein. Sie lernen verschiedene CAD-Programme kennen, die dazu verwendet werden können.

In *Kapitel 5* wird die Möglichkeit vorgestellt, 3D-Modelle zu erstellen, indem man sie einscannet.

*Kapitel 6* beschäftigt sich mit dem 3D-Druck im engeren Sinne. Sie erfahren, wie man den eigenen Drucker vorbereitet, wie man druckt und wie die Nachbereitung eines Drucks aussieht.

In *Kapitel 7* wird dann der Veredelungsprozess behandelt. Ein fertig gedrucktes Objekt ist zumeist einfarbig, und es können kleinere Fehler des Drucks bestehen. Sie lernen, wie Sie ein Objekt bemalen und feilen, um es dadurch zu verbessern.

Im zweiten Teil des Buches, in den *Kapiteln 8 bis 18*, werden verschiedene Projekte durchgeführt, in denen jeweils ein 3D-Modell erstellt, gedruckt und veredelt wird. Dabei erfahren Sie genau, wie man beim 3D-Druck vorgeht, egal welchen Drucker Sie einsetzen möchten. Anhand eines Projekts erkläre ich auch, wie Sie einen 3D-Druck in einem lokalen 3D-Druck-Shop in Auftrag geben können. Sie können dieses Buch also auch verwenden, wenn Sie keinen eigenen 3D-Drucker besitzen.

Der *Ausblick* soll Ihren Blick in die Zukunft richten. Sie haben nun eine Menge über den 3D-Druck erfahren und können sich weiteren Projekten zuwenden.

Wenn Sie 3D-Modelle aus dem Internet herunterladen, aber auch wenn Sie Objekte einscannen oder sie als 3D-Modell nachbauen, sollten Sie immer darauf achten, rechtlich auf der sicheren Seite zu sein. In *Anhang A* finden Sie deshalb wichtige Hinweise zu rechtlichen Fragen des 3D-Drucks, verfasst von Rechtsanwalt Manuel Jansen.

In *Anhang B* finden Sie schließlich ein Glossar, in dem die wichtigsten Begriffe des 3D-Drucks erläutert werden.

### Download zum Buch

Weiterhin möchte ich Sie auf die Möglichkeit hinweisen, die Materialien zum Buch von der Webseite des Verlags ([www.miptp.de/0210](http://www.miptp.de/0210)) herunterzuladen. Die Struktur des Downloads können Sie *Anhang C* entnehmen.

Jetzt wünsche ich Ihnen ein interessantes Eintauchen in die Materie. Ich hoffe, dass der 3D-Druck Sie inspiriert und Ihnen genauso viel Spaß macht wie mir. Es ist ein faszinierendes Thema mit ungeheuer viel Potenzial.

Thomas Kaffka

# Teil I

## Einführung in den 3D-Druck

### In diesem Teil:

- **Kapitel 1**  
3D-Druck heute ..... 15
- **Kapitel 2**  
Der 3D-Drucker ..... 21
- **Kapitel 3**  
3D-Modelle downloaden ..... 35
- **Kapitel 4**  
3D-Modelle mit Software erstellen ..... 45
- **Kapitel 5**  
3D-Objekte einscannen ..... 83
- **Kapitel 6**  
3D-Objekte drucken ..... 101
- **Kapitel 7**  
3D-Objekte veredeln (Finishing) ..... 123



# 3D-Druck heute

In diesem ersten Kapitel stelle ich einige Beispiele vor, in welchen Bereichen unseres täglichen Lebens der 3D-Druck bereits eingesetzt wird.

## 1.1 Automobilindustrie

Der 3D-Druck wird in der Automobilindustrie eingesetzt, um Teile von Fahrzeugen zu produzieren. Es gibt aber auch Unternehmen – wie Local Motors in den USA (<https://localmotors.com/>) –, die ein gesamtes Kraftfahrzeug mit dem 3D-Drucker herstellen (siehe Abbildung 1.1).



Abb. 1.1: Kfz aus dem 3D-Drucker von Local Motors

## 1.2 Schmuck

Auch Schmuck kann heute aus dem 3D-Drucker kommen. Als Beispiel möchte ich Nervous System (<https://n-e-r-v-o-u-s.com/>) nennen, auf deren Webseite man verschiedene Schmuckstücke bestellen kann, wie Sie in Abbildung 1.2 sehen können.

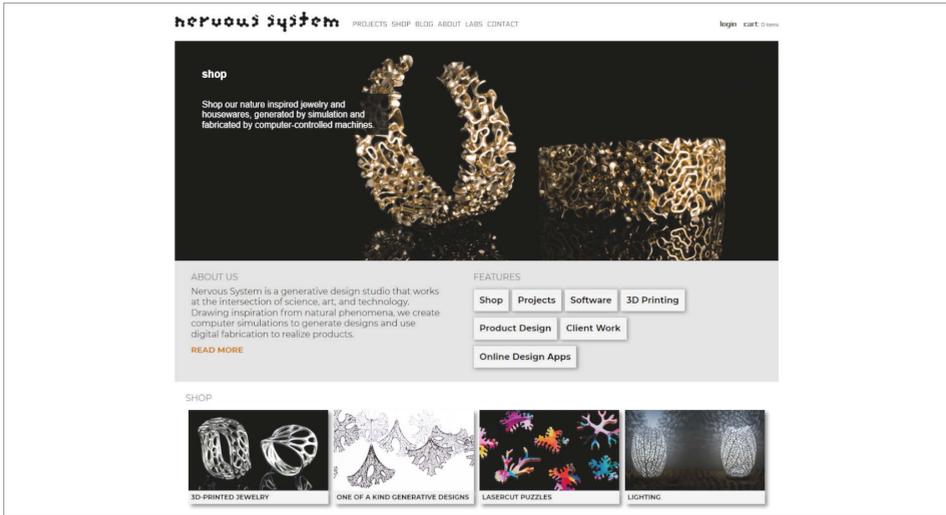


Abb. 1.2: Schmuck von Nervous System

### 1.3 Architektur

In der Architektur ist es üblich, kleine Modelle der späteren Gebäude zu erstellen. Diese wurden bisher zumeist in Kleinarbeit gebastelt. Für Architekten bietet der 3D-Druck jedoch die Möglichkeit, Modelle der Gebäude zu drucken, die später gebaut werden sollen. Da dies viel einfacher ist, als das Modell zu basteln, haben so viel mehr Kunden die Gelegenheit, das Gebäude vorher zu sehen und zu »begreifen«. Dies ist viel eindrucksvoller, als ein Gebäude nur auf dem Papier oder am Bildschirm eines Computers zu präsentieren (siehe Abbildung 1.3).

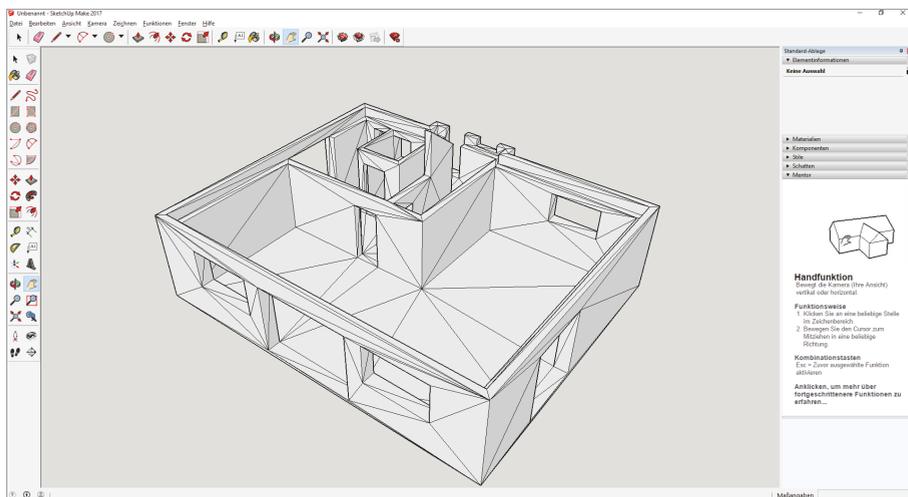


Abb. 1.3: Haus im CAD-Programm SketchUp

Abbildung 1.4 zeigt, wie das im CAD-Programm SketchUp geplante Gebäude (Abbildung 1.3) vom 3D-Drucker Renkforce RF1000 von Conrad Electronic SE hergestellt wird.

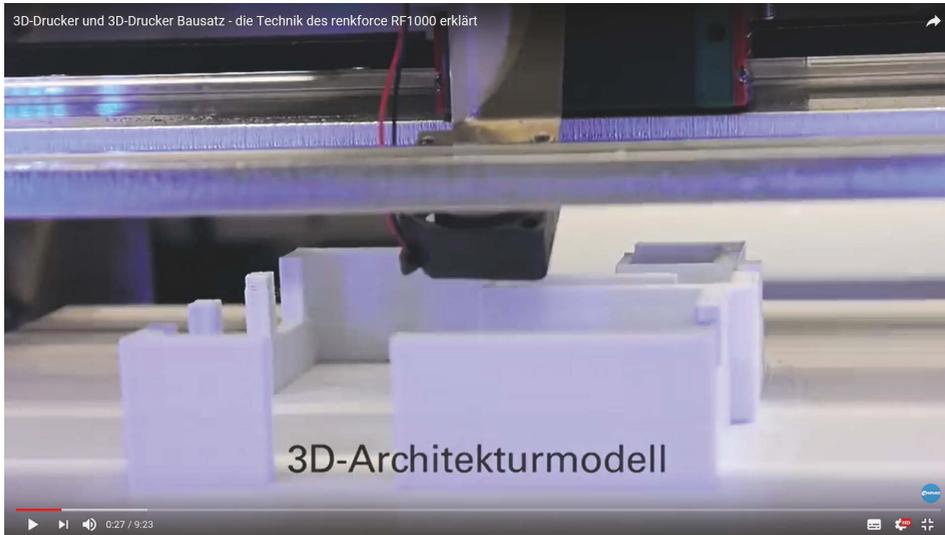


Abb. 1.4: Haus vom Renkforce RF1000 gedruckt

## 1.4 Textilindustrie

Das Startup-Projekt Electroloom (<https://www.kickstarter.com/projects/electroloom/electroloom-the-worlds-first-3d-fabric-printer?lang=de>) hat einen Drucker entwickelt, der Textilien drucken kann. Damit könnte es einmal möglich werden, Kleidung für den Eigengebrauch zu designen und diese auszu-drucken.



Abb. 1.5: 3D-Drucker für Kleidung

## 1.5 Kunst

Auch Künstler profitieren vom 3D-Druck. Es lassen sich völlig neue Konzepte entwickeln, und es sind Kunstobjekte möglich, die früher so nicht hergestellt werden konnten. Um sich einen Eindruck zu verschaffen, rufen Sie die Webseite von MyMiniFactory (<https://www.mymini-factory.com/de/>) auf und geben als Suchbegriff »Art« ein. Klicken Sie dann auf ART (siehe Abbildung 1.6). MyMiniFactory ist ein Internetprojekt, wo jeder seine 3D-Modelle hochladen kann. Diese können dann von anderen Personen heruntergeladen und gedruckt werden.

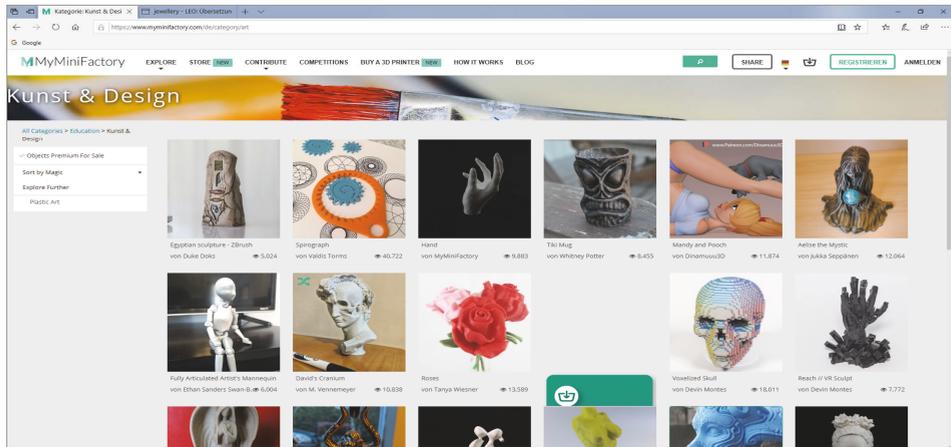


Abb. 1.6: Kunstmodelle in MyMiniFactory

## 1.6 Raumstation ISS

Selbst auf der Raumstation ISS befindet sich ein 3D-Drucker, wie in Abbildung 1.7 zu sehen ist. Er ist dafür gedacht, Gebrauchsgegenstände wie Werkzeuge vor Ort zu drucken.

Auf der Webseite <https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/iss-tools> hat die NASA 3D-Modelle für Gegenstände veröffentlicht, die bereits auf der ISS ausgedruckt wurden. Natürlich hat dies eine Menge Vorteile. Es ist nur notwendig, mit Raketen den Kunststoff auf die ISS zu bringen. Wenn ein Gegenstand schnell benötigt wird, braucht man nicht auf die nächste Rakete zu warten, sondern druckt ihn sofort aus.



Abb. 1.7: 3D-Drucker auf der ISS



# Der 3D-Drucker

Sie tragen sich mit der Idee, einen 3D-Drucker zu kaufen oder Sie haben sich den Drucker bereits gekauft. In diesem Kapitel stelle ich Kriterien vor, die für den Kauf eines 3D-Druckers relevant sind. Dazu wird der Drucker von der Technik her erklärt. Sie lernen Ihren Drucker so besser kennen. Sie erfahren außerdem, wie man den Drucker am besten aufstellt und was man für die eigene Sicherheit beachten muss.

## 2.1 Der 3D-Drucker, der zu Ihnen passt

Schauen wir uns zunächst die Funktionsweise von 3D-Druckern an, damit Sie beurteilen können, welchen Drucker Sie sich anschaffen sollten. Dazu gebe ich in Abschnitt 2.1.3 auch eine Kaufberatung.

Ein 3D-Drucker ist im Prinzip ein hochpräzise arbeitender Roboter. Er besteht aus akkurat gearbeiteten Komponenten, die in einer komplexen Art und Weise zusammenarbeiten. Im Rahmen der 3D-Modellierung hat sich der Standard herausgebildet, die Achsen des Druckers mit X (links und rechts), Y (vor und zurück) und Z (hoch und runter) zu benennen und zwar sowohl in den 3D-Modellierprogrammen als auch bei den Hardware-Druckern. Die X- und Y-Achse sind die Achsen in der Ebene, von denen die Z-Achse senkrecht nach oben führt. Und in diesen drei Raumachsen muss der Drucker seine Komponenten und damit das 3D-Objekt, was er druckt, bewegen können.

### 2.1.1 Funktionsweise eines FDM-Druckers

*FDM* heißt ausgeschrieben »Fused Deposition Modelling«, ins Deutsche übersetzt etwa »Schmelzschichtverfahren«. Auch gebräuchlich ist, dieses Verfahren als *FFF* zu bezeichnen, also »Fused Filament Fabrication«. Ein solcher Drucker – und bei den meisten Hobbydruckern handelt es sich um einen solchen – druckt ein 3D-Modell, indem er es mit flüssigem Kunststoff Schicht für Schicht aufbaut. Den schichtweisen Aufbau der Objekte können Sie gut in Abbildung 2.1 sehen. Achten Sie auf die Verschlussklappe des Teleskops.



Abb. 2.1: Das Hubble-Weltraumteleskop als 3D-Objekt

Der *Extruder* (die Druckdüse incl. Heizelemente), welcher das 3D-Modell ausdrückt, muss in den drei räumlichen Achsen (X, Y und Z) bewegt werden können. Es haben sich dazu verschiedene Techniken herausgebildet, von denen ich im Folgenden einige beschreibe.

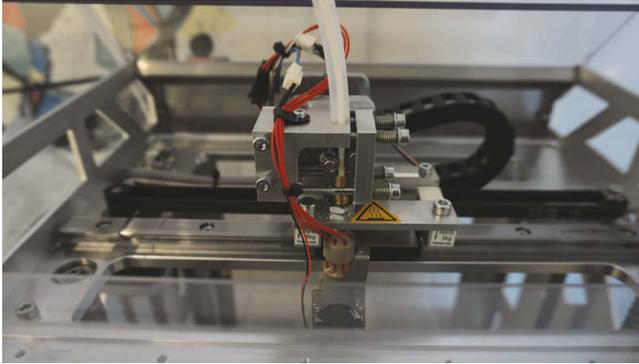
Zum einen kann ein Drucker so vorgehen, dass er den Druckkopf am oberen Ende des Druckers in die X- und Y-Richtung bewegt und das Druckbett beim Druck langsam absenkt (Z-Richtung, beispielsweise Ultimaker 2+). Der *Material Feeder* (der Teil des Druckers, der für den Transport des Filaments zuständig ist) ist bei den verschiedenen 3D-Druckern an unterschiedlichen Stellen angebracht. Beim den Ultimaker-Druckern ist der Material Feeder auf der Rückseite des Druckers vor dem Führungsschlauch anmontiert. Das hat den Vorteil, dass der Druckkopf eine relativ geringe Masse hat und daher sehr schnell bewegt werden kann. Diese Drucker können sehr schnell drucken.

Weiterhin sind Drucker auf dem Markt, bei denen der Druckkopf nur in die Y-Richtung bewegt wird und das Druckbett in die X- sowie in die Z-Richtung (beispielsweise Renkforce RF 2000). Beim Renkforce RF 1000 (wird nicht mehr hergestellt) und RF 2000 sind der/die Material Feeder direkt über dem Druckkopf angebracht. Das hat den Vorteil, dass es so gut wie kein Spiel des Filaments zwischen Material Feeder und Extruder gibt. Der Drucker kann sehr akkurat drucken.

Darüber hinaus gibt es auch Konstruktionen, bei denen sich das Druckbett unten befindet und nur in die Y-Richtung (vor und zurück) bewegt wird, der Druckkopf sich aber in die X- (links und rechts) und Z-Richtung (nach oben) bewegt (beispielsweise STARTT). Beim STARTT-Drucker ist der Material Feeder, wie beim Ultimaker, vor dem Führungsschlauch angebracht. Das hat wieder den Vorteil einer höheren Geschwindigkeit. Es sind auch noch andere Konstruktionen auf dem Markt.

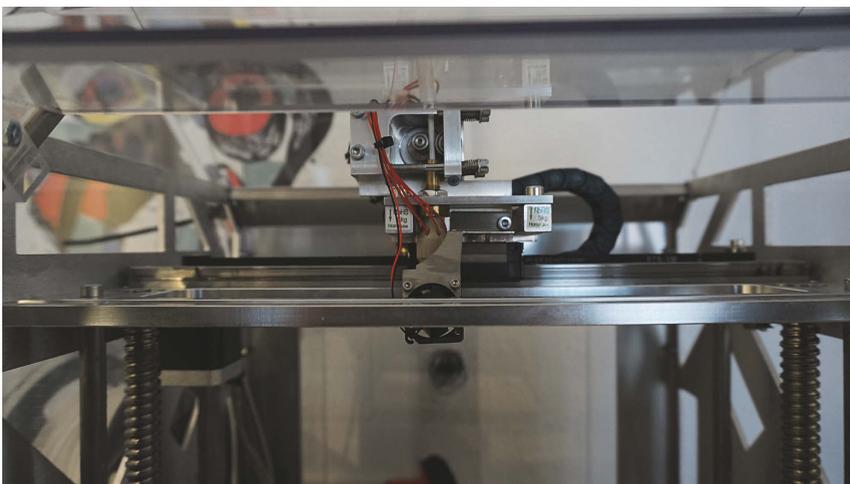
Gedruckt wird also immer durch ein Zusammenspiel der Ansteuerung der X-, Y- und Z-Motoren sowie des Material Feeders. Der Material Feeder bewegt das *Filament* (der Kunststoff, mit dem gedruckt wird) vor und zurück. Vor, wenn der Dru-

cker flüssiges Filament aufträgt, und zurück, wenn die Druckdüse ihre Position verändert, damit das Material keine Fäden zieht.



**Abb. 2.2:** Der Material Feeder des RF 1000

Der Material Feeder (siehe Abbildung 2.2) besteht aus einer mit einem Motor betriebenen Achse sowie einer Andruckrolle. Zwischen diesen beiden wird das Filament befördert. Da entweder die Achse oder die Andruckrolle ein Profil hat, um das Filament präzise befördern zu können, kommt es nach häufigem Druck zu einem Abrieb des Filaments. Dann befinden sich überall im Material Feeder kleine Filament-Späne. Dies kann dazu führen, dass das Filament nicht mehr ordnungsgemäß transportiert wird. Es ist daher erforderlich, ab und zu den Material Feeder zu säubern. Das geht mit einem kleinen Malpinsel am besten. Tun Sie das aber bitte nicht während des Drucks, da dann die Härchen des Pinsels in den Feeder gelangen können. Sie müssen in einem solchen Falle den Druck sofort abbrechen.



**Abb. 2.3:** Druckkopf des RF 1000 in einer seitlichen Ansicht



Abb. 2.4: Die Druckdüse (Extruder) des RF 1000

Der *Druckkopf* (siehe Abbildung 2.3) besteht aus einem Wagen, der von einem oder zwei Motoren in die verschiedenen Raumachsen bewegt wird und einem *Extruder*, der Druckdüse (siehe Abbildung 2.4) mit Heizeinrichtung. Dieser wird vor dem Druck aufgeheizt, dadurch wird in seinem Inneren das Filament verflüssigt und durch seinen unteren Düsenausgang ausgeschieden. Der dafür nötige Druck im Extruder wird durch den Material Feeder erzeugt. Es gibt Drucker, bei denen der Extruder durch ein Modell mit einem anderen Durchlassdurchmesser austauschbar ist (beispielsweise bei dem Drucker Renkforce RF 2000). Damit ist es möglich, filigraner bzw. grober zu drucken. Außerdem können Extruder für verschiedene Filament-Durchmesser ausgetauscht werden. Oft befinden sich kleine Ventilatoren am Extruder, die für eine sofortige Abkühlung des ausgetretenen, flüssigen Filaments sorgen.

Ein »normaler« FDM-Drucker kann immer nur einfarbig drucken. Es gibt aber Drucker mit zwei Extrudern (beispielsweise der Ultimaker 3). Diese können gleichzeitig zwei Filament-Farben verwenden. Ein 3D-Objekt kann dann zweifarbig gedruckt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, neben dem Hauptfilament ein Filament für Stützstrukturen zu drucken, welches beispielsweise wasserlöslich ist und später komfortabel aus dem 3D-Objekt entfernt werden kann (siehe dazu Kapitel 6).