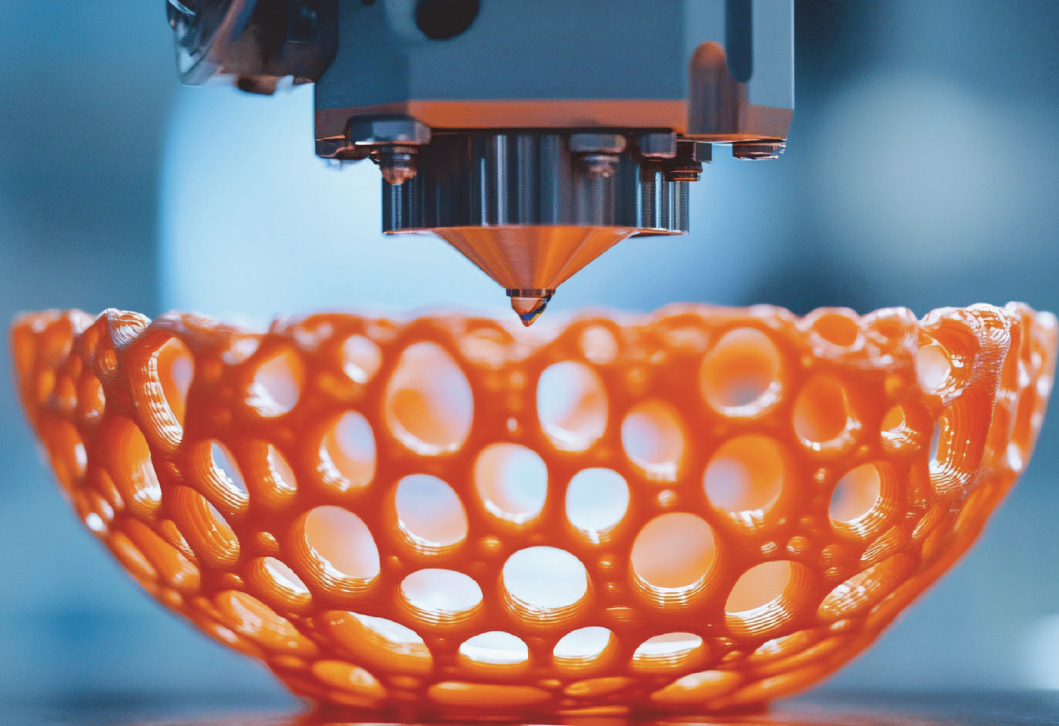




Thomas Kaffka

4. Auflage

3D-Druck

Das Praxisbuch für Einsteiger

15 DIY-Projekte Schritt für Schritt



Projektdateien aller
3D-Modelle zum Download



Hinweis des Verlages zum Urheberrecht und Digitalen Rechtemanagement (DRM)

Liebe Leserinnen und Leser,

dieses E-Book, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Mit dem Kauf räumen wir Ihnen das Recht ein, die Inhalte im Rahmen des geltenden Urheberrechts zu nutzen. Jede Verwertung außerhalb dieser Grenzen ist ohne unsere Zustimmung unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Je nachdem wo Sie Ihr E-Book gekauft haben, kann dieser Shop das E-Book vor Missbrauch durch ein digitales Rechtemanagement schützen. Häufig erfolgt dies in Form eines nicht sichtbaren digitalen Wasserzeichens, das dann individuell pro Nutzer signiert ist. Angaben zu diesem DRM finden Sie auf den Seiten der jeweiligen Anbieter.

Beim Kauf des E-Books in unserem Verlagsshop ist Ihr E-Book DRM-frei.

Viele Grüße und viel Spaß beim Lesen

Ihr mitp-Verlagsteam



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 978-3-7475-1013-1

4. Auflage 2025

www.mitp.de

E-Mail: mitp-verlag@lila-logistik.com

Telefon: +49 7953 / 7189 - 079

Telefax: +49 7953 / 7189 - 082

© 2025 mitp Verlags GmbH & Co. KG, Augustinusstr. 9a, DE 50226 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 Vervost

Sprachkorrektorat: Petra Heubach-Erdmann

Coverbild: © Markus / stock.adobe.com, © aicandy / stock.adobe.com,

© sk.crafted / stock.adobe.com

Satz: III-satz, Kiel, www.drei-satz.de

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung.....	11
Teil I	Einführung in den 3D-Druck.....	13
1	3D-Druck heute.....	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
2	Der 3D-Drucker.....	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).....	27
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.....	33
2.3.3	Drucken des 3D-Modells.....	34
2.3.4	Nachbereitung (Finalisieren) des Objekts.....	34
2.4	Zusätzlich nötiges Zubehör.....	34
3	3D-Modelle downloaden.....	37
3.1	3D-Modelle aus dem Internet downloaden.....	37
3.2	MyMiniFactory.....	41
3.3	Thingiverse.....	43

4	3D-Modelle mit Software erstellen	47
4.1	Autodesk Fusion	47
4.1.1	Überblick über Fusion	47
4.1.2	Ein Modell mit Fusion erstellen	48
4.2	SketchUp Free	54
4.2.1	Überblick über SketchUp Free	54
4.2.2	Ein Modell mit SketchUp Free erstellen	55
4.3	Blender	59
4.3.1	Überblick über Blender	59
4.3.2	Ein Modell mit Blender erstellen	63
4.4	MakeHuman – Menschen modellieren	70
4.4.1	Überblick über MakeHuman	70
4.4.2	Mit MakeHuman ein Modell erstellen	72
4.5	Alternative Programme	74
4.6	3D-Modell erstellen mithilfe künstlicher Intelligenz	76
4.6.1	Generatives Design	76
4.6.2	KI-generierte 3D-Modelle	77
5	Objekte einscannen	81
5.1	Überblick über verschiedene Scan-Verfahren	81
5.1.1	Fotogrammetrie	81
5.1.2	Infrarots Scanner	81
5.1.3	Streifenlicht Scanner	82
5.1.4	Laserscanner	83
5.2	Objekt per Fotogrammetrie einscannen	84
5.3	Objekt per Infrarots Scanner einscannen	87
5.3.1	Scanner Kinect for Xbox One	87
5.3.2	Scanner Kinect for Xbox 360	92
5.4	Objekt per Smartphone einscannen	94
6	3D-Objekte drucken	97
6.1	Das Slicer-Programm	97
6.2	Die verschiedenen Materialien	102
6.3	Der 3D-Druck	104
6.3.1	Vorbereitung des 3D-Druckers	104
6.3.2	Der Druckvorgang	106
6.3.3	Nachbereiten des 3D-Drucks	108
6.4	Experimente mit den Druckparametern	110
6.5	Entsorgung der Druckreste	112

6.6	Troubleshooting.	113
6.6.1	Neues Filament wird eingesetztt	113
6.6.2	PLA haftet nicht	113
6.6.3	ABS haftet nicht	114
6.6.4	3D-Objekt wird unsauber gedruckt.	114
6.6.5	Oberfläche des 3D-Objekts ist »hügelig«	114
6.6.6	Flexibles Filament springt aus dem Materialfeeder heraus	114
6.6.7	Druckdüse verstopft.	115
6.7	3D-Druck im externen Druckshop.	116
6.7.1	3D-Druck im Internet	116
6.7.2	Drucken an öffentlich zugänglichen 3D-Druckern	116
7	3D-Objekte veredeln (Finishing)	119
7.1	Vorbehandeln mit Dremel und Feile	119
7.2	Veredeln mithilfe künstlicher Intelligenz	123
7.3	ABS-Objekte mit Aceton behandeln.	123
7.4	PLA-Objekte mit Heißluft behandeln	124
7.5	Arbeiten mit Lackfarben	125
7.6	Arbeiten mit Sprühfarbe aus der Dose	126

Teil II Projekte 129

8	Rasierklingenhalter	131
8.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen.	131
8.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung	136
8.3	Veredeln mit Feile	137
9	Trilobit	139
9.1	Download von Thingiverse	140
9.2	Druck mit PLA mit Druckbettheizung.	140
9.3	Veredeln mit Dremel, Feile und Cutter	142
10	Kaffeetasse	145
10.1	3D-Modell mit Blender erstellen	145
10.2	3D-Druck mit PLA mit Druckbettheizung.	154
10.3	Veredeln mit dem Dremel	155
11	Pinguin	157
11.1	3D-Modell mit Blender erstellen	157
11.2	3D-Druck mit PLA mit Druckbettheizung und Stützmaterial	164

11.3	Veredeln mit Feile und Farbe	166
12	Ersatzteil	169
12.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen	169
12.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung	174
12.3	Veredeln mit Feile	175
13	Blumentopfuntersatz	177
13.1	3D-Modell mit Fusion erstellen	177
13.2	3D-Druck mit PLA mit Druckbettheizung	179
14	Stilisierter griechischer Tempel	183
14.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen	183
14.2	3D-Druck mit PLA mit oder ohne Druckbettheizung	190
14.3	Veredeln mit Feile und Pinsel	192
15	Menschliche Plastik	193
15.1	Scannen in einem 3D-Druck-Studio	193
15.2	3D-Druck mit Gips in einem 3D-Druck-Studio	195
15.3	Nacharbeiten	196
16	Wappen	197
16.1	3D-Modell mit Fusion erstellen	197
16.2	3D-Druck mit PLA (Gold-Optik) mit Druckbettheizung	203
17	Büste von Napoleon Bonaparte	205
17.1	Download des 3D-Modells	205
17.2	3D-Druck mit ABS mit Druckbettheizung	207
17.3	Veredeln mit Kupferpulver	208
18	Curiosity Rover	213
18.1	Download von der Webseite der NASA	213
18.2	3D-Druck mit PLA in zwei Farben	215
18.3	Veredeln mit Dremel und Feile	219
19	Zellulare Standlampe	221
19.1	Download von Thingiverse	221
19.2	3D-Druck mit PLA (Kupfer-Optik) mit Druckbettheizung	223
19.3	Veredeln mit Modellierwerkzeug	225
20	Der T-Rex-Schädel	227
20.1	Download von Thingiverse	227

20.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung	229
20.3	Veredeln mit Dremel, Feile, Pinsel & Co.	230
21	Schachfiguren	237
21.1	Designgrundsätze für Schachfiguren	237
21.2	Individuelles Schachfigurendesign	239
21.3	3D-Druck und Finalisieren der Schachfiguren	239
21.4	Das fertige Schachspiel	240
22	Zubehör für Spiele	241
22.1	3D-Modell in Blender	241
22.2	3D-Druck mit PLA mit Druckbettheizung und Stützmaterial	242
22.3	Veredeln mit Feile und Modellierwerkzeug	243
	Ausblick	245
A	Rechtliche Fragen beim 3D-Druck.	247
A.1	Darf ich Objekte nachdrucken und/oder verbreiten?	247
A.1.1	Urheberrecht.	247
A.1.2	Designrecht.	249
A.1.3	Markenrecht	250
A.1.4	Patentrecht/Gebrauchsmusterrecht	250
A.1.5	Wettbewerbsrecht.	251
A.2	Was muss ich bei Lizenzen beachten?	251
A.3	Wer haftet, wenn ein 3D-Objekt Schäden verursacht?	253
B	Glossar	255
C	Downloads zum Buch	259
	Stichwortverzeichnis	261

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, 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. Weiterhin gehe ich auf Hilfen ein, die durch künstliche Intelligenz möglich sind.

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

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. Auch hier sind Hilfestellungen durch künstliche Intelligenz möglich.

In *Kapitel 7* wird dann der Veredelungsprozess behandelt. Ein fertig gedrucktes Objekt ist zumeist einfarbig, und es kann kleinere Fehler des Drucks geben. Sie lernen, wie Sie ein Objekt bemalen und feilen, um es dadurch zu verbessern. Diese Projektphase kann ebenfalls durch künstliche Intelligenz unterstützt werden.

Im zweiten Teil des Buches, in den *Kapiteln 8 bis 22*, 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* am Ende des Buches 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.mitp.de/1012) herunterzuladen zu können. 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 37
- **Kapitel 4**
3D-Modelle mit Software erstellen 47
- **Kapitel 5**
Objekte einscannen 81
- **Kapitel 6**
3D-Objekte drucken 97
- **Kapitel 7**
3D-Objekte veredeln (Finishing) 119

3D-Druck heute

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

In diesem Zusammenhang möchte ich auch auf die Unterstützungsmöglichkeit durch künstliche Intelligenz hinweisen. Es ist etwa möglich, im Rahmen des sogenannten *generativen Designs* Designalternativen zu einem 3D-Modell generieren zu lassen. Weiterhin gibt es Tools, die ganze 3D-Modelle aus Text oder Bildvorlagen generieren. Mehr dazu lesen Sie in Abschnitt 4.6.

1.1 Automobilindustrie

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



Abb. 1.1: Kfz aus dem 3D-Drucker von Czinger Vehicles

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.

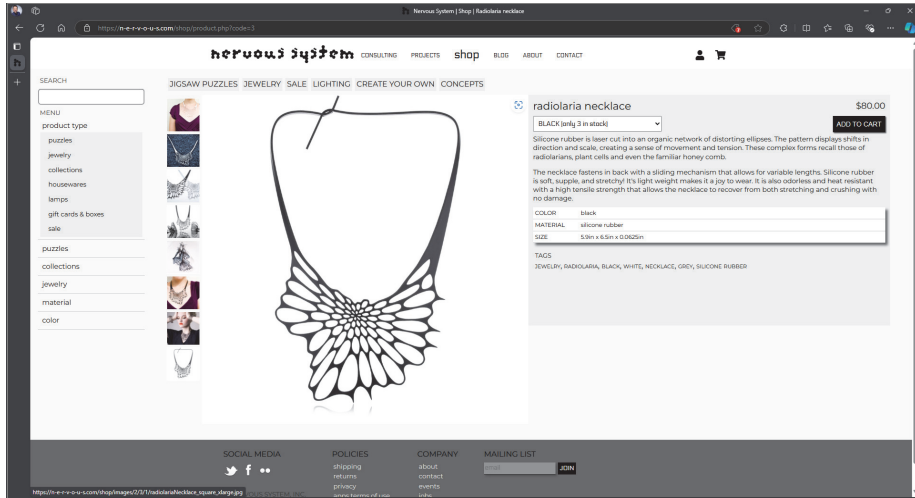


Abb. 1.2: Schmuck von Nervous System

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).

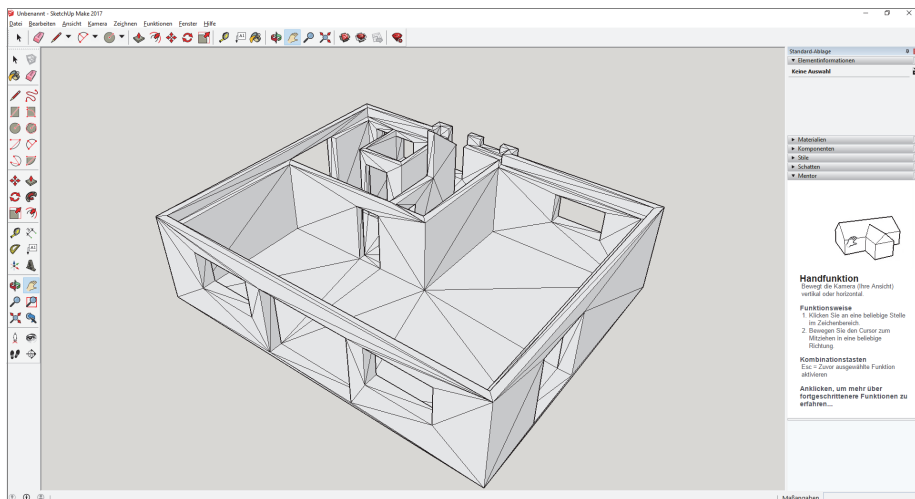


Abb. 1.3: Haus im CAD-Programm SketchUp

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.

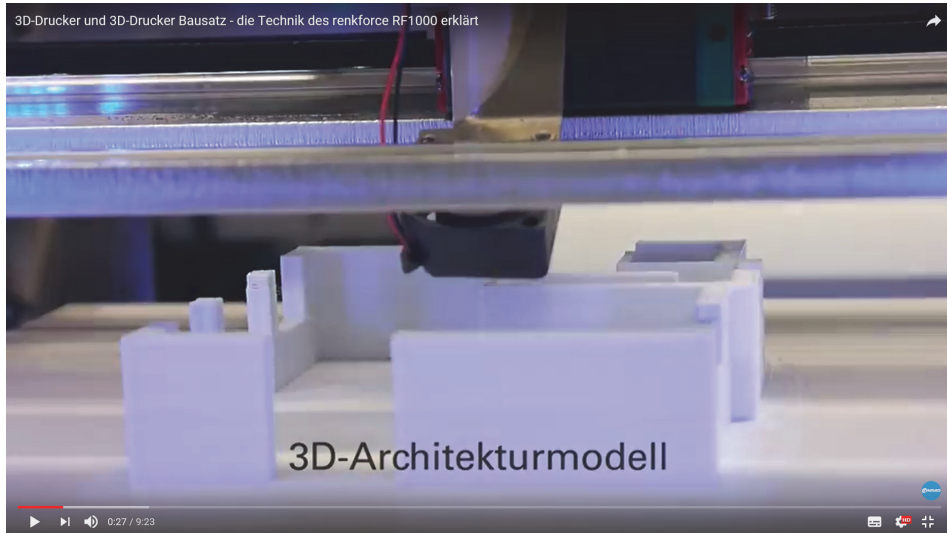


Abb. 1.4: Haus vom Renkforce RF1000 gedruckt

1.4 Textilindustrie

Das Start-up-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 ist es möglich, Kleidung für den Eigengebrauch zu designen und diese auszudrucken.

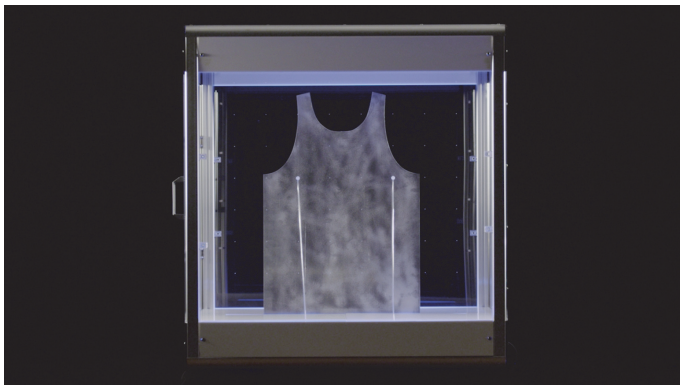


Abb. 1.5: 3D-Drucker für Kleidung

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, bei dem jeder seine 3D-Modelle hochladen kann. Diese können dann von anderen Personen heruntergeladen und gedruckt werden.

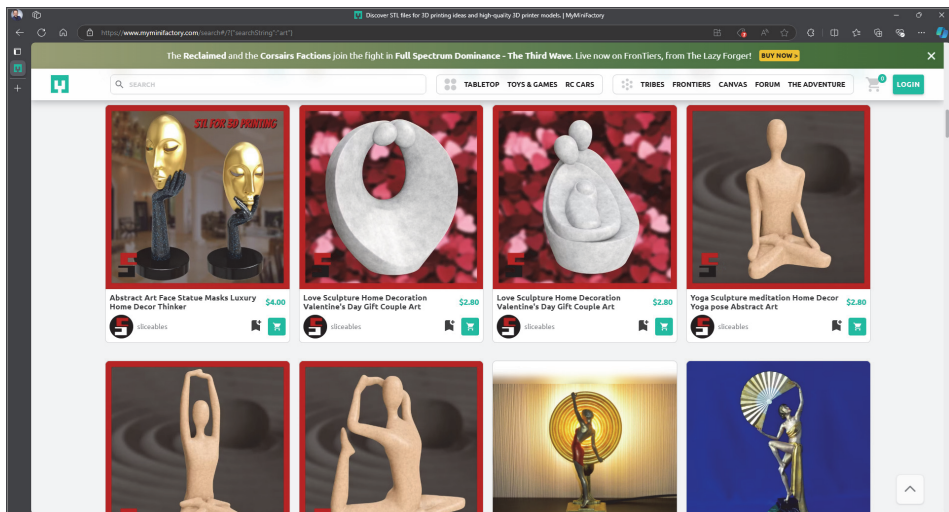


Abb. 1.6: Kunstmodelle in MyMiniFactory

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 für die eigene Sicherheit beachtet werden 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, das 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).

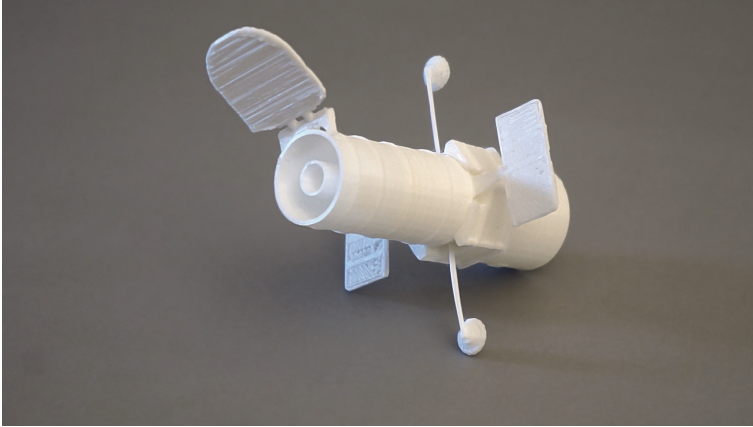


Abb. 2.1: Das Hubble-Weltraumteleskop als 3D-Objekt

Der *Extruder* (die Druckdüse inkl. Heizelemente), der das 3D-Modell ausdruckt, 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 S5). Der *Materialfeeder* der Teil des Druckers, der für den Transport des *Filaments* (das ist der Kunststoff, der zumeist auf einer Spule dem 3D-Drucker zugeführt wird) zuständig ist, ist bei den verschiedenen 3D-Druckern an unterschiedlichen Stellen angebracht. Bei den Ultimaker-Druckern ist der Materialfeeder 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. Bei einigen Druckern sind die Materialfeeder direkt über dem Druckkopf angebracht. Das hat den Vorteil, dass es so gut wie kein Spiel des Filaments zwischen Materialfeeder 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 bei meinem Bambu Lab A1). Es sind auch noch andere Konstruktionen auf dem Markt.

Hinweis

Ich selbst besaß einen Renkforce RF 1000, den ich inzwischen durch einen modernen Bambu Lab A1 ersetzt habe. Ich beziehe mich in diesem Buch auf beide Drucker, wenn es um Druckbeispiele geht. Sie können die Projekte aber auch mit jedem anderen Drucker umsetzen.

Gedruckt wird immer durch ein Zusammenspiel der Ansteuerung der X-, Y- und Z-Motoren sowie des Materialfeeders. Der Materialfeeder bewegt das *Filament* vor und zurück. Vor, wenn der Drucker flüssiges Filament aufträgt, und zurück, wenn die Druckdüse ihre Position verändert, damit das Material keine Fäden zieht.



Abb. 2.2: Der Materialfeeder des Bambu Lab A1

Der Materialfeeder (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 Materialfeeder kleine Filament-Späne. Dies kann dazu führen, dass das Filament nicht mehr ordnungsgemäß transportiert wird. Es ist daher erforderlich, ab und zu den Materialfeeder 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.

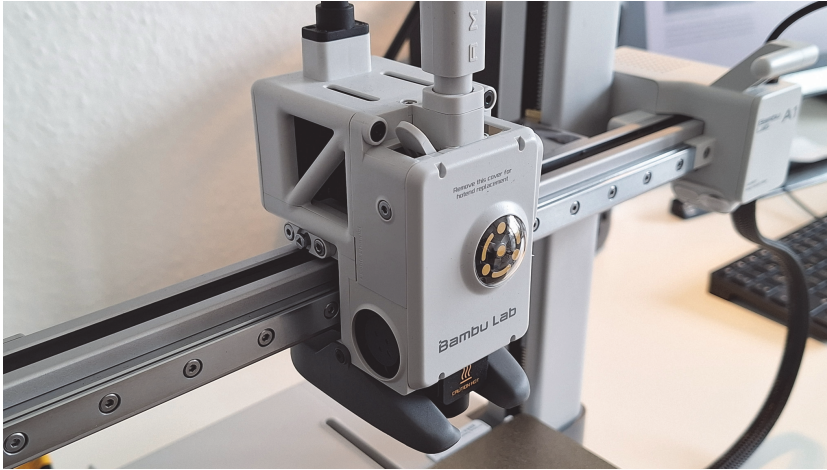


Abb. 2.3: Druckkopf des Bambu Lab A1 in einer seitlichen Ansicht



Abb. 2.4: Die Druckdüse (Extruder) des Bambu Lab A1

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 Materialfeeder erzeugt. Es gibt Drucker, bei denen der Extruder durch ein Modell mit einem anderen Durchlassdurchmesser austauschbar ist. Damit ist es möglich, filigraner bzw. grober zu drucken. Außerdem können Extruder für verschiedene Filament-Durchmesser ausgetauscht werden. Oft befin-

den 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 S5). 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).



Abb. 2.5: Das Druckbett des Bambu Lab A1

Das *Druckbett* (siehe Abbildung 2.5) ist zumeist eine Glas-, Keramik- oder Plastikplatte, auf der das 3D-Objekt entsteht. Teurere Drucker haben die Möglichkeit, das Druckbett zu beheizen. Das hat den Vorteil, dass dann auch andere Filamente neben PLA (Polylactic Acid) gedruckt werden können. PLA kann von jedem FDM-Drucker gedruckt werden. Ist das Druckbett nicht beheizbar, ist es erforderlich, Maßnahmen zu ergreifen, damit das 3D-Objekt beim Druck nicht den Halt auf dem Druckbett verliert. Dabei sind verschiedene Vorgehensweisen üblich, z.B. die Verwendung eines Prittstifts, mit dem der Druckbereich eingestrichen wird (siehe dazu Kapitel 6).

2.1.2 Andere 3D-Druckverfahren

Neben dem FDM- bzw. FFF-Druck gibt es auch noch andere Verfahren im 3D-Druck, deren Drucker aber heute noch derartig teuer sind, dass diese sich für den Hobbybereich nicht wirklich eignen. Ich möchte drei dieser Verfahren aber trotzdem kurz vorstellen.

Gips-Drucker (auch 3DP genannt)

Ein FDM-Drucker kann bei einem Extruder immer nur einfarbig drucken. Die Lücke zum echten Farbdruck schließt der *Gips-Drucker*. Dieser trägt schichtweise Gips auf, welches mit einem Bindemittel (z.B. Wasser) versetzt wurde. Das Bindemittel kann, wie bei einem Tintenstrahldrucker, eingefärbt werden. Das 3D-Objekt wird farbig gedruckt. Wegen des Materials Gips sind die Objekte aber sehr empfindlich gegen Stöße und andere mechanische Einwirkungen. Vom Bauvolumen her sind die Drucker viel größer als FDM-Drucker. Mit Gips-Druckern können beispielsweise menschliche Figuren (siehe auch Kapitel 15) gedruckt werden.

SLA- und DLP-Drucker

Diese Drucker lassen ein 3D-Objekt aus einem Harz entstehen. Die Objekte können wesentlich feiner und mit einem höheren Detaillierungsgrad hergestellt werden. Das Harz wird mit UV-Licht so bestrahlt, dass es an bestimmten Stellen aushärtet. So entsteht Schicht für Schicht das 3D-Objekt.

Bei den meisten *SLA-Druckern* (Stereolithografie) wächst das 3D-Objekt unter dem Druckbett nach unten. Es sind Schichtdicken von 0,15 bis 0,05 mm möglich. Dabei entstehen praktisch keine Schichtlinien. Das Aushärten des Harzes bewerkstelligt ein Laserstrahl. Überall, wo er das 3D-Objekt trifft, härtet das Harz aus. Das Druckbett fährt danach etwas nach oben, und frisches Harz läuft nach. So wächst das 3D-Objekt langsam aus dem Harzbett nach unten.

Auch *DLP-Drucker* (Digital Light Projection) gehen prinzipiell so vor. Das 3D-Objekt hängt in einem mit Harz gefüllten Tank. Das Objekt wird von unten schichtweise mit einem speziellen Beamer belichtet. Dabei wird das Harz Schicht für Schicht ausgehärtet. Da der Beamer immer das gesamte Objekt belichtet, ist der Druck schneller als beim SLA-Drucker, bei dem der Laser in jeder Schicht das Objekt abfahren muss.

Diese Drucker werden vielfach zur Erstellung von Kunstobjekten bzw. Architekturmodellen eingesetzt.

SLS-Drucker

Der *SLS-Drucker* (Selective Laser Sintering) verwendet zumeist ein Nylonpulver, welches Schicht für Schicht auf dem gesamten Druckbett aufgebracht wird. Dieses wird auf 150 Grad aufgeheizt. Der Laser verbindet jede Schicht Nylon mit der darunter befindlichen, indem er die Schichten verschmilzt, und zwar an den Stellen, an denen sich das Objekt bilden soll. Nach dem Druck muss das noch körnige Nylonpulver vom 3D-Objekt entfernt werden. Das kann mit Bürsten oder auch mit Druckluft geschehen. Das so gewonnene Pulver kann für einen neuen Druck verwendet werden. Im Gegensatz zu anderen Druckverfahren entstehen praktisch keine Schichtlinien und das 3D-Objekt ist sehr genau, detailliert und widerstandsfähig. Ein Druckauftrag dauert zumeist Tage, bis er abgeschlossen ist.

Mit diesen Druckern werden oft Prototypen für die spätere Fabrikation von Einzelteilen gedruckt.

2.1.3 Kaufberatung (Features versus Preis)

Nun wenden wir uns wieder den *FDM-Druckern* zu, deren Funktionsweise Sie in Abschnitt 2.1.1 kennengelernt haben. Ich möchte hier die Frage erörtern, was beim Kauf eines 3D-Druckers beachtet werden sollte.

Bevor Sie sich der Frage nach dem richtigen Drucker zuwenden, ist es am besten, ein Budget festzulegen, welches Ihr Drucker nicht überschreiten darf. Da es Drucker praktisch in jeder Preisklasse gibt, verhindern Sie so, dass Ihr angepeilter Drucker immer teurer wird. Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Buches ist z.B. einer der billigsten Drucker der Creality Ender 3 V2 zu einem Preis von ca. 119 Euro. Dieser Drucker kommt allerdings in Einzelteilen, die zusammengebaut werden müssen. Ein Drucker im oberen Preissegment ist der UltiMaker S3, der derzeit ca. 4.699 Euro kostet.

Wenn Sie einen günstigen Drucker wählen, ist das Druckbett oft nicht beheizt. Das bedeutet, dass Sie nur das Filament PLA drucken können. Da PLA sehr vielseitig und auch lebensmittelecht ist, braucht das keine Einschränkung zu sein. Aber es sind eben keine flexiblen Filamente möglich. Eine Handyhülle kann unter diesen Umständen beispielsweise nicht gedruckt werden. (Die verschiedenen Filamente werden in Kapitel 6 vorgestellt.)

Weiterhin ist bei günstigen Druckern das Druckvolumen klein, oft nicht viel größer als 10 x 10 x 10 cm. Damit kann ein 3D-Modell, das in einer Richtung größer als 10 cm ist, nicht gedruckt werden. Es kann sein, dass Sie bei einem solchen Drucker bestimmte 3D-Modelle für den Druck teilen müssen, um sie später zum fertigen Objekt zusammenzukleben.

Außerdem ist bei günstigen Druckern der Aufbau des gesamten Druckers nicht besonders verwindungssteif (es kann also zu leichten Bewegungen innerhalb des Gehäuses kommen), weil deren Gehäuse vorwiegend aus Kunststoff gefertigt sind. Da sich der Druckkopf sowie das Druckbett beim Druck schnell bewegen, kommt es zu Vibrationen des gesamten Druckers. Es kann sein, dass solche Drucker nicht präzise arbeiten.

Das soll aber nicht heißen, dass günstige Drucker von vornherein schlecht sind. Es bedeutet nur, dass Sie – wie auch bei anderen Produkten – weniger Qualität für weniger Geld bekommen.

Es gibt Drucker, die an das Filament des Herstellers gebunden sind (beispielsweise die Drucker von XYZprinting, dieses Unternehmen befindet sich heute nicht mehr am Markt). Dabei kommt es zu denselben Preiseffekten wie bei bestimmten Tintenstrahldruckern. Der Drucker ist vergleichsweise günstig, aber das Filament teurer als Angebote von anderen Herstellern. Es ist besser, einen Drucker zu