



Thomas Kaffka

4. Auflage

3D-Druck

Das Praxisbuch für Einsteiger

15 DIY-Projekte Schritt für Schritt



Projektdateien aller
3D-Modelle zum Download



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 eingesetzt.	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

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).

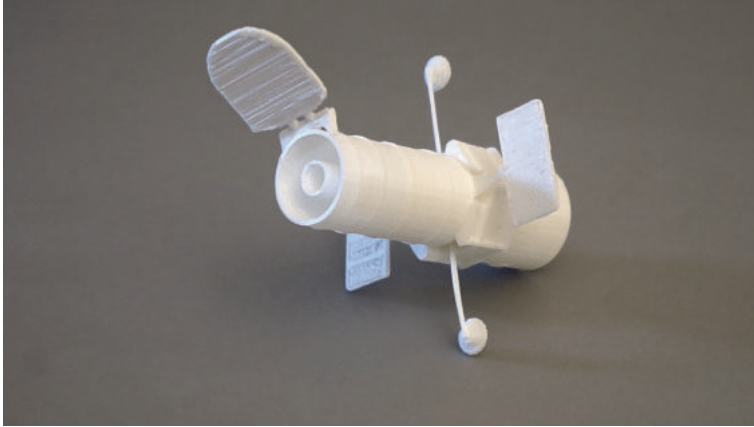


Abb. 2.1: Das Hubble-Weltraumteleskop als 3D-Objekt

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.

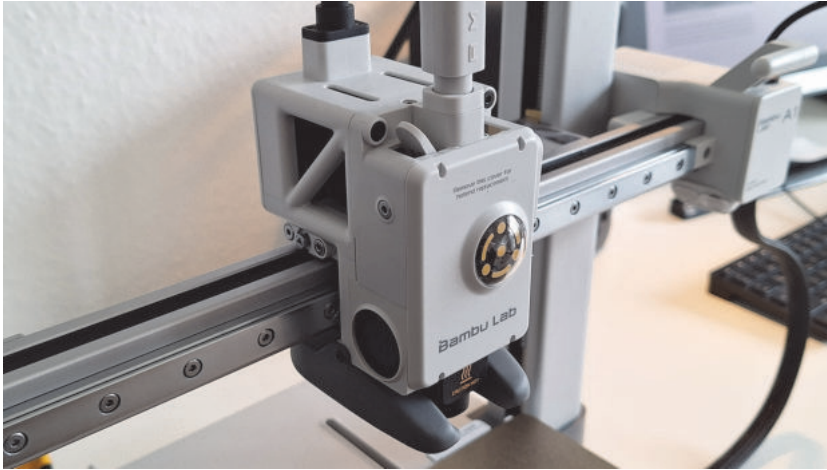


Abb. 2.3: Druckkopf des Bambu Lab A1 in einer seitlichen Ansicht



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

erwerben, der nicht an das Filament eines bestimmten Herstellers gebunden ist. Sie können dann Preise vergleichen und günstig einkaufen.

Was ich Ihnen auf jeden Fall empfehlen möchte, ist ein 3D-Drucker, der auch mit einer SD-Karte oder einem USB-Stick arbeiten kann. Drucker ohne diese Möglichkeit können nur von einem PC angesteuert werden. Diese Arbeitsweise hat mehrere Nachteile. Der Drucker muss immer neben Ihrem PC stehen. Bei lang andauernden Druckaufträgen kann es sein, dass der PC eine Fehlfunktion hat bzw. eine ungewollte Funktion ausführt. So kann er beispielsweise den Virens Scanner starten oder in den Stromsparmodus wechseln. Das kann dazu führen, dass der Druckauftrag abgebrochen wird. Es ist wesentlich besser, den Drucker per SD-Karte unabhängig von Ihrem PC zu betreiben. Ein Druckauftrag wird dann auf Ihrem PC erstellt (wie das geht, sehen Sie weiter hinten im Buch) und auf die SD-Karte übertragen. In einem nächsten Schritt wird die Karte in den 3D-Drucker eingeführt und der Druckauftrag von dort aus gestartet.

Wenn Sie Ihren 3D-Drucker unabhängig von Ihrem PC betreiben, kann der Druckvorgang auch mal 9 Stunden dauern, ohne dass er unterbrochen wird. Außerdem können Sie in dieser Zeit voll über Ihren PC verfügen. Sie müssen natürlich nicht die ganze Zeit den Drucker beobachten. Er verrichtet seine Arbeit ja automatisch. Verlassen Sie Ihre Wohnung oder Ihr Haus jedoch nicht, bevor der Druckauftrag fertig ist. Es könnten Probleme auftreten, die einen sofortigen Druckabbruch erfordern, z.B. wenn sich das Objekt vom Druckbett löst (es ist daher besser, den Druckvorgang immer wieder zu kontrollieren). Wenn der Drucker in einem solchen Fall weiterarbeitet, kann es zu einer Beschädigung seiner Komponenten kommen. Bei einigen Druckern kann man den Druckauftrag auch pausieren. Der Drucker muss aber angeschaltet bleiben, um später an der definierten Stelle weiterdrucken zu können.

Wenn Ihr PC keinen eingebauten SD-Kartenleser hat, können Sie auch einen externen SD-Kartenleser verwenden. Solche Kartenleser werden an der USB-Schnittstelle angeschlossen und haben einen oder mehrere SD-Kartenslots eingebaut. Die SD-Karte meldet sich im PC als externes Laufwerk an. Ich verwende den SD-Kartenleser von Transcend (USB 3.0 Card Reader RDF5).

Weiterhin sollte ein 3D-Drucker über eine abschraubbare Druckdüse verfügen. Es gibt Situationen (siehe Abschnitt 6.6), in denen man die Druckdüse abschrauben muss, um beispielsweise den Extruder zu reinigen.

Wenn Sie mehr Geld für Ihren Drucker ausgeben können, dann werden die oben besprochenen Parameter (Druckbettgröße, Druckraumvolumen, Präzision des Druckers, Verwendung verschiedener Filamente, um nur einige zu nennen) immer komfortabler. Ab 3D-Druckern mit einem Preis von zumeist ca. 500 bis 1.000 Euro kommt eine Druckbettheizung dazu. Weiterhin vergrößert sich schrittweise das Druckvolumen, und der Aufbau des Druckers wird immer solider.

Es gibt noch ein weiteres Problem, auf das ich Sie aufmerksam machen möchte, nämlich den *Kabelbruch*. Da sich der Druckkopf und das Druckbett bewegen und dies in alle Richtungen immer wieder, kann es nach langem Gebrauch des Druckers zu einem Kabelbruch in den Versorgungsleitungen kommen. Das funktioniert nach demselben Prinzip wie das Auseinanderbiegen einer Büroklammer, die immer wieder an derselben Stelle verbogen wird. Sie wird früher oder später genau an dieser Stelle brechen. Es gibt Drucker, die Führungsketten verwenden, in denen die Kabel verlegt sind (beispielsweise Renkforce Pro 6+). Die Führungsketten sorgen dafür, dass die Kabel nur weitläufig, sachte gebogen werden, und verhindern so einen Kabelbruch. Weiterhin sind spezielle Ummantelungen der Kabel in Gebrauch, die ein Abknicken verhindern.

In Tabelle 2.1 werden noch einmal die beschriebenen Kriterien für den Druckerkauf zusammengefasst.

Kriterium	Auswirkung
Budget	Je höher, desto qualitativ besser ist der Drucker.
Druckbettheizung	Man kann auch andere Materialien als PLA drucken.
Druckvolumen	Je höher, desto weniger müssen Modelle geteilt werden, um sie zu drucken.
Gehäusematerial	Metall ist besonders verwindungssteif, Kunststoff nicht. Ein 3D-Drucker aus Metall ist präziser.
Filament-Wahl	Wenn Filament von sämtlichen Anbietern gekauft werden kann, kann man sich für einen günstigen Preis entscheiden.
SD-Karten- bzw. USB-Port	Druck ist unabhängig vom PC möglich, daher weniger stör-anfällig.
Kabelführung	Führungsketten bzw. Ummantelungen verhindern einen Kabelbruch.
Anzahl der Druckköpfe	Bei zwei Druckköpfen können verschiedene Materialien gleichzeitig gedruckt werden.
Austauschbare Druckdüsen	Es können filigranere/größere Objekte gedruckt werden.

Tabelle 2.1: Kriterien für den Kauf eines 3D-Druckers

2.2 3D-Drucker »out of the box« aufbauen und kennenlernen

Wenn der 3D-Drucker geliefert wird, möchten Sie ihn natürlich direkt aufbauen. Nehmen Sie ihn aus der Transportbox und heben Sie diese auf. 3D-Drucker sind sehr transportempfindlich, und für später nötige Transporte ist es besser, den Originalkarton mit den innen liegenden Transporthilfen noch zu besitzen.

Entfernen Sie die Transportsicherungen am 3D-Drucker. Oft werden der Druckkopf sowie das Druckbett explizit gesichert, damit sie sich während des Transports nicht

bewegen können. Wenn Sie den Drucker später wieder transportieren möchten, sichern Sie die beweglichen Teile beispielsweise mit Klebeband oder Kabelbindern.

Bauen Sie Ihren Drucker, wenn nötig, zusammen. Zumeist muss noch die Halterung, die später die Filament-Rollen trägt, an den 3D-Drucker angebracht werden. Das Filament wird zwischen der Rolle und dem Druckkopf (Extruder) oft per Plastikschiene geführt. Auch dieser muss in den meisten Fällen selbst eingesetzt werden.

Bei der Verwendung bestimmter Filamente kann es zu unangenehmen Dämpfen kommen. Das betrifft vor allem die Drucker mit Druckbettheizung, da das verwendete Filament dann unangenehm riechen kann. Es ist daher wichtig, den Drucker so aufzustellen, dass seine Umgebung gut belüftet werden kann.

2.2.1 Sicherheits- und Betriebshinweise

Jede Person, die mit dem 3D-Drucker umgeht, muss sich mit der Bedienungsanleitung vertraut gemacht haben.

Gehen Sie vorsichtig mit dem 3D-Drucker um. Es handelt sich um eine hochpräzise Maschine. Wenden Sie daher keine Gewalt im Umgang mit dem 3D-Drucker an.

Vorsicht

Ein 3D-Drucker ist nicht für Kinder geeignet. Wenn er ein beheiztes Druckbett hat, besteht beim Druck Verbrennungsgefahr. Der Extruder heizt sich beim Druck auch stark auf. Die heißen Teile bewegen sich ebenfalls hin und her. Kinder können die sich daraus ergebenden Gefahren nicht richtig einschätzen. Seien Sie daher immer anwesend, wenn Kinder mit dem 3D-Drucker in Kontakt kommen.

Dieser Warnhinweis zu einem erhöhten Verletzungsrisiko gilt natürlich auch für Erwachsene. Fassen Sie während des Betriebs des Druckers niemals in ihn hinein. Lassen Sie die beheizten Teile nach dem Druck ausreichend abkühlen.

Außerdem ist auch erhöhte Vorsicht geboten, wenn Sie Haustiere besitzen. Der Drucker sollte sich nicht in deren Wirkungsbereich befinden.

Der 3D-Drucker sollte in der Nähe einer Steckdose stehen, damit er im Problemfall schnell vom Netz getrennt werden kann. Weiterhin sollte der Einschalter des Druckers leicht erreichbar sein. Achten Sie darauf, dass das Kabel zur Steckdose gut verlegt ist, es sollte insbesondere nicht gequetscht werden.

Stellen Sie den 3D-Drucker sicher auf. Die Unterlage sollte vollkommen eben und der Tisch stabil sein. Die Teile des 3D-Druckers bewegen sich schnell, und es kann

dadurch zu Vibrationen in der Unterlage des Druckers kommen. Stellen Sie den Drucker nicht auf wertvolle Möbel.

Bei einigen 3D-Druckern kommt es beim Druck zu einem merklichen Lärmpegel. Stellen Sie den Drucker so auf, dass Sie selbst und andere Personen dadurch möglichst nicht gestört werden.

Verlassen Sie niemals Ihre Wohnung oder Ihr Haus, während der 3D-Drucker druckt. Es können Probleme während des Drucks auftreten, beispielsweise das Ablösen des 3D-Objekts vom Druckbett während des Drucks, welche das sofortige Eingreifen Ihrerseits erfordern. Einen Drucker sich selbst zu überlassen wäre fahrlässig.

2.2.2 Das erste Einschalten

Machen Sie sich zunächst mit der Betriebsanleitung Ihres Druckers vertraut. Wenn Sie den Drucker mit dem Stromnetz verbunden haben, schalten Sie ihn ein. Besitzt der Drucker ein Display, wird dort oft nach dem Einschalten die Version der Firmware des Druckers angezeigt. Prüfen Sie im Internet, ob es für Ihren Drucker eine neuere Version der Firmware gibt. Wenn dies bei Ihrem Drucker der Fall ist, laden Sie diese auf den Drucker, so wie es Ihre Betriebsanleitung vorgibt.

Zumeist ist es nötig, den Drucker vor dem ersten Gebrauch zu kalibrieren. Damit ist gemeint, dass der Abstand zwischen dem Extruder und dem Druckbett eingestellt werden muss, da dies sich im Rahmen des Transports verstellt haben kann. Oft sind an den Ecken des Druckbetts Schrauben angebracht, die dieses heben und senken können. Der Extruder wird dann zu den Ecken hinbewegt und dort ein gewisser Abstand eingestellt. Ziehen Sie dazu die Betriebsanleitung Ihres Druckers zurate und kalibrieren Sie ihn entsprechend (es sind auch Drucker auf dem Markt, die eine automatische Kalibrierung beherrschen).

Der Abstand zwischen Extruder und Druckbett beträgt nur wenige Zehntelmillimeter. Der genaue Abstand geht aus dem Handbuch Ihres Druckers hervor. Um diesen einstellen zu können, wird bei manchen Druckern eine Fühlerlehre mit ausgeliefert, bei der es sich um einen aus einem Material wie Pappe, Kunststoff oder Metall bestehenden Streifen mit definierter Dicke handelt. Wenn das bei Ihrem Drucken nicht der Fall ist, kaufen Sie sich am besten eine entsprechende Fühlerlehre. Zumeist besteht sie aus mehreren Metallzungen, von denen eine von der Dicke her zu Ihrem Drucker passen muss. Die jeweilige Dicke ist auf einer Metallzunge aufgeprägt. Bei meinem Drucker sind es 0,3 Millimeter.

Zum Kalibrieren legen Sie die für Ihren Drucker geltende Metallzunge der Fühlerlehre zwischen Extruder und Druckbett und stellen den Anstand so ein, dass Sie die Metallzunge gerade noch bewegen können. Wenn der Abstand zu groß eingestellt ist, haftet das 3D-Objekt später nicht am Druckbett. Ist der Abstand zu gering, ist der Filament-Austritt aus dem Extruder behindert.

Der T-Rex-Schädel

In diesem Projekt wird ein T-Rex-Schädel mit Sockel, damit er später auch aufgestellt werden kann, gedruckt. Ich möchte Ihnen insbesondere zeigen, wie der Veredelungsprozess abläuft. Sie trennen die Stützstrukturen aus dem 3D-Objekt, feilen es an verschiedenen Stellen und lackieren es zuletzt mit Farbe.

20.1 Download von Thingiverse

Als Erstes laden Sie das 3D-Modell des T-Rex-Schädels von www.thingiverse.com herunter. Rufen Sie dazu die Webseite auf, wie in Abbildung 20.1 zu sehen ist.

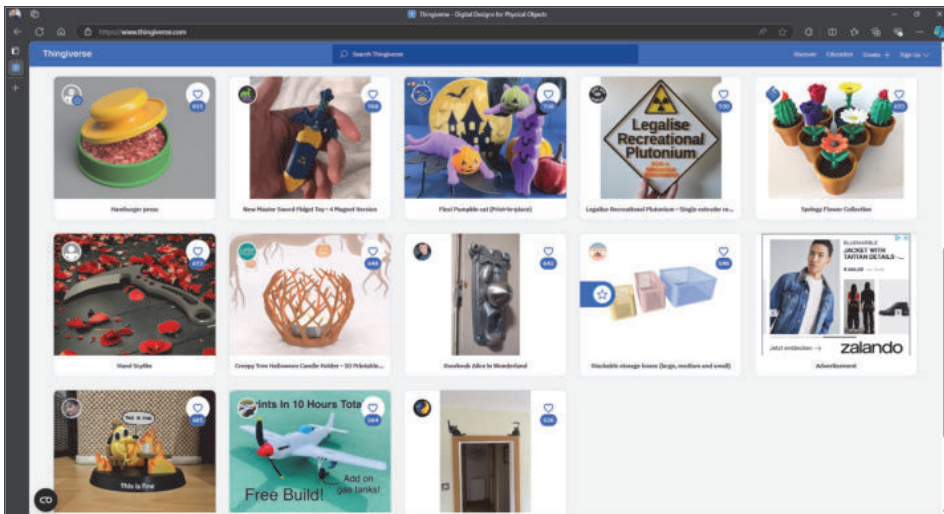


Abb. 20.1: Aufruf von Thingiverse

Geben Sie als Suchbegriff T-Rex Skull ein und betätigen Sie die -Taste. Sie erhalten die Ergebnisseite der Abbildung 20.2.

Klicken Sie auf den Eintrag THE T-REX SKULL. Dieser Schädel stammt von 3D-Drucker-Hersteller MakerBot (siehe Abbildung 20.3).

Klicken Sie nun auf DOWNLOAD ALL FILES. Es wird die Datei The T-Rex Skull - 308335.zip heruntergeladen. Wenn Sie sie entpacken, werden vier Dateien angezeigt.

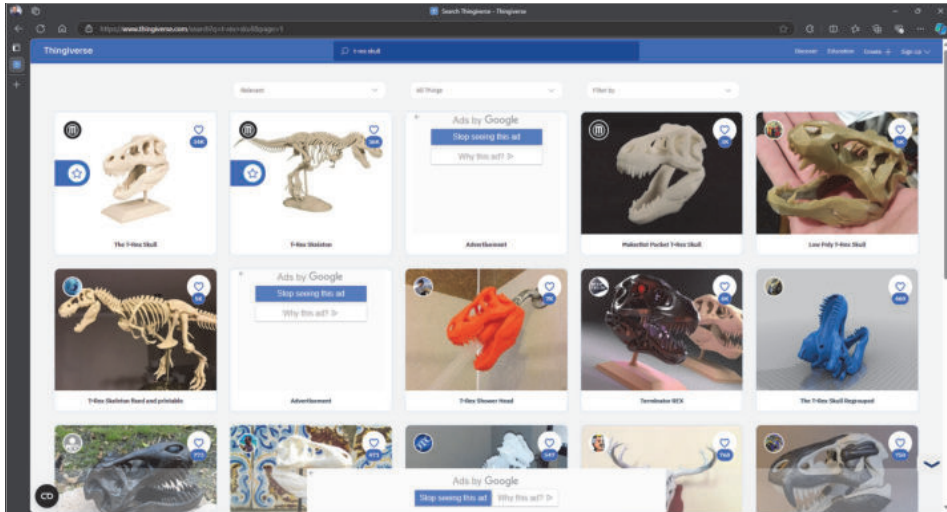


Abb. 20.2: Suchergebnisse in Thingiverse

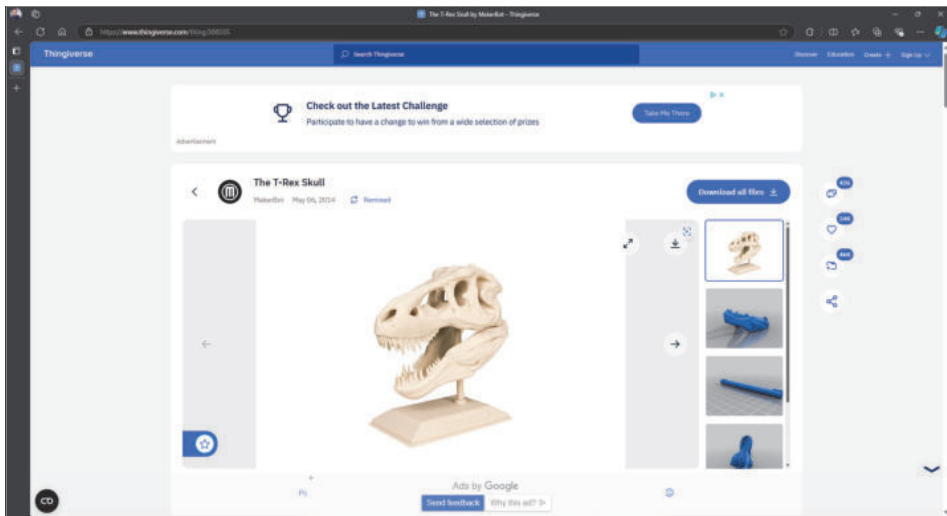


Abb. 20.3: Der T-Rex-Schädel in Thingiverse

Hinweis

Der T-Rex-Schädel wurde unter der Lizenz »Creative Commons – Attribution – Share Alike« veröffentlicht. Das bedeutet, dass Sie ihn kostenlos herunterladen können, ihn kopieren und in dem Medium Ihrer Wahl weiter verteilen, jedoch unter derselben Lizenz. Weiterhin können Sie ihn verändern und ergänzen, wie es Ihnen beliebt. Sie müssen aber immer den ursprünglichen Designer angeben.

Nach dem Download befinden sich die folgenden Dateien in Ihrem Ordner.

- T-RexSkull_Base.stl: die Plattform zum Aufstellen des Schädels,
- T-ReSkull_Rod.stl: eine Stange zum Aufstellen des Schädels,
- T-RexSkull_Jaw.stl: den Unterkiefer des T-Rex,
- T-RexSkull_Skull.stl: den restlichen Schädel des T-Rex.

Diese 3D-Modelle können nun einzeln gedruckt werden.

20.2 3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung

Ich drucke diese 3D-Modelle wieder mit weißem PLA ohne Druckbettheizung. Denken sie daran, das Druckbett mit Prittstift zu bestreichen oder eine andere Methode anzuwenden, damit das Objekt auf dem Druckbett, während des Drucks hält.

Öffnen Sie das Modell mit Ihrem Slicer-Programm und geben Sie die für Ihren Drucker wichtigen Parameter ein. Zum Druck verwende ich die Parameter (für den Drucker Renkforce RF 1000) der Tabelle 20.1.

Filament	PLA
Layer Height	0,2 mm
Infill Density	15 %
Supportmaterial	ja
Printspeed	50 mm/s
Travel Speed	130 mm/s
Filament Diameter	2,85 mm
Extruder Temperature	230 °C
Bed Temperature	Nicht geheizt

Tabelle 20.1: Druckparameter für den T-Rex-Schädel

Bevor Sie die Modelle ausdrucken, prüfen Sie, ob diese in das Druckvolumen Ihres Druckers passen. Wenn Ihr Drucker zu klein sein sollte, skalieren Sie sämtliche Modelle herunter, bis sie passen. Sie müssen natürlich für alle Modelle denselben Skalierungsparameter verwenden.

Der Schädel im Slicer-Programm Cura könnte dann so aussehen, wie in Abbildung 20.4 gezeigt wird.

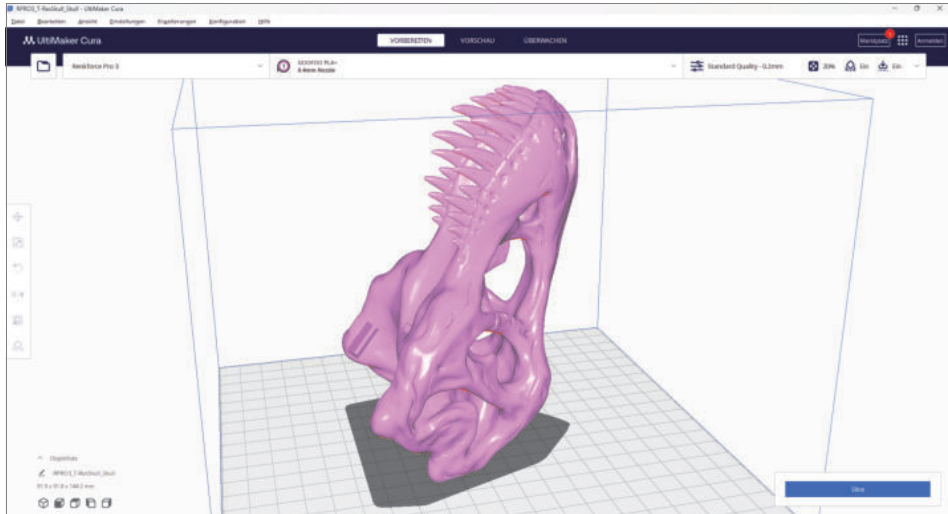


Abb. 20.4: Der T-Rex-Schädel in Cura

Den ausgedruckten Schädel sehen Sie in Abbildung 7.2.

20.3 Veredeln mit Dremel, Feile, Pinsel & Co.

Wie in Kapitel 6 erläutert, kommen beim 3D-Druck schon mal kleinere Fehler vor. Diese gilt es zu beseitigen. Zuerst werden die Manschetten vom Modell mit der Hand entfernt, wie in Abbildung 20.5 zu sehen ist.



Abb. 20.5: Manschetten entfernen

Stichwortverzeichnis

3D Druck Service 116
3D GENERATION GmbH 193
3D Scan 89, 90
3D-Drucker mit zwei Extrudern 166
3D-Druckshop 116
3D-Druck-Studio 193
3D-Freiform-Modellierwerkzeuge 75
3D-Modell 11, 47, 118, 229
 aus dem Internet 37, 139
 aus Fotos 81
 drucken 97
 Druckvorbereitung 97
 Fotogrammetrie 84
 für Druck vorbereiten 75
 geometrische 54
 glätten 75
 kostenlos 41
 mit SketchUp 131, 183
3D-Modell einer Person 193
3D-Modellierung 21, 47
3D-Objekt 11, 116
 drucken 108
 lackieren 125
 unsauber gedruckt 114
 verbessern 119
 veredeln 137
3DP 26
3DS Max 74
3D-Scanner 193

A

Abrieb 23
ABS 102, 103, 207
ABS haftet nicht 114
ABS-Objekte glätten 123
Aceton 109, 114, 123
Achsen 21
Acrylnitril-Butadien-Styrol 103
Airbrush 127
Akropolis 183
Architektur 16, 26, 54
Ausdehnungskoeffizient 108
Autodesk 84

Autodesk Fusion 47
Automobilindustrie 15
Avatar 194

B

Beamer 26
Bedienungsanleitung 30, 32
Beheizbares Druckbett 30, 106, 113
Beispielsammlung 112
Betriebsanleitung 31
Bibliothek 116
Bilderrahmen erstellen 55
Blender 59, 145, 157, 215, 241
 Funktionen 62
BlendSwap 38
Blue Tape 34, 105
Blumentopfuntersatz 177
Budget 27, 29
Büste drucken 205
Büste Napoleon 206

C

CAD 38, 40, 75, 194
Cellular Lamp 222
cgtrader 38
Compound-PLA 157
Computer Aided Design 38
Creality Ender 3 V2 27
Creative Commons Lizenz 37
Cube 111
Cura 43, 97, 154, 164, 215, 223, 229
Curiosity Rover 213

D

Design
 generatives 76
Digital Light Projection 26
DLP 26
DLP-Drucker 26
Download 37
 Modell 214
Drache 241
Drahtgittermodell 62

Dremel 109, 119, 142, 155, 231
 Druck 97
 Troubleshooting 113
 unsauberer 119
 Druckabbruch 28
 Druckauftrag 28
 Druckbett 22, 25, 108
 beheizbares 113
 reinigen 108
 Druckbettheizung 28, 103, 105, 114, 224
 Druckbett-Temperatur 105
 Druckdüse 23
 verstopft 115
 Druckeinrichtung 100
 Drucker aufbauen 29
 Drucker-Modell 98
 Druckfehler beseitigen 230
 Druckgeschwindigkeit 101
 Druckkopf 22, 24
 Druckparameter 101, 110, 218, 223, 229
 Druckphasen 104
 Druckplattenhaftungstyp 101
 Druckreste 112, 138
 Druck-Service 116
 Druckshop 116
 Drucktemperatur 101, 104
 Druckverfahren 116
 Druckvolumen 27, 29, 229
 Druckvorgang 106
 Durchlassdurchmesser 24
 Düse 102

E

Ecken 62
 eigene Projekte 245
 Ersatzteile drucken 169
 Experiment 110, 113
 Extruder 22, 24
 Pickel oder Schlaufen 121
 zieht Fäden 121
 Extruderdüse reinigen 108
 Extrusion 50

F

Farbdruck 26
 Farbe 126
 FBX 72
 FDM 21, 100
 Feile 109, 119, 142, 155, 166, 225, 232
 FFF 21, 25
 Filament 23, 97, 102, 110, 114, 115
 entfernen 104
 neu einsetzen 113

 springt aus dem Materialfeeder 114
 Filament-Durchmesser 24
 Filament-Halter 32
 Filament-Material 102
 Filament-Reste 108
 Filament-Rolle 32
 Filament-Späne 23
 Filament-Strang Durchmesser 32
 Filament-Wechsel 104
 Firmware 31
 Flächen 62
 Flex 103
 Fotogrammetrie 81, 84, 193
 Fotovorlage 145
 Fühlerlehre 31, 34
 Führungsketten 29
 Fülldichte 101
 Füllmaterial 106
 Füllstruktur 106
 Fused Deposition Modelling 21
 Fused Filament Fabrication 21
 Fusion 47, 177, 197
 KI 76

G

Gcode 97, 102, 106, 137, 155
 Gehäusematerial 29
 Generatives Design 76
 Geometrische 3D-Modelle 54
 Geschenk 237
 Gips-Drucker 26
 Gipsfigur 193
 Gips-Objekt 195
 Gittermodell 158
 Gitternetz 66
 Gold-Effekt 127
 GrabCAD 38
 Granit-Effekt 126, 234
 Grundform festlegen 170
 Grünspan 205, 211

H

Haarspray 105
 Handyhülle 27
 Harz 26
 Haushaltsgegenstände 169
 Heißluftföhn 124
 Heizeinrichtung 24
 Henkel 153
 High-Impact Polystyrene 103
 HIPS 103
 Holzoptik 102

I

iMakr 39
 Infill 106, 114
 Infrarotskan 87
 Infrarotscannen 81
 Infrarotscanner 81
 Internetplattform 37

K

Kabelbruch 29
 Kabelführung 29
 Käfer modellieren 63
 Kaffeetasse erstellen 145
 Kalibrieren 31
 Kanten 62
 abrunden 150
 Kauf 27
 Kaufberatung 27
 KI 76, 123
 Kinect Adapter für Xbox One 87
 Kinect for Xbox 360 87, 92
 Kinect for Xbox One 87
 Kinect-Configuration-Verifier-Tool 87
 Kreppband 105, 126
 Küchenpapier 108
 Kühlung 101
 Künstliche Intelligenz 76
 Tools 77
 Veredelung 123
 Kunstobjekt 18, 26, 221
 Kupfer 205, 209
 Kupferfilament 32
 Kupferpulver 209

L

Lackieren 125
 Lärmpegel 31
 Laser 26
 Laserscanning 84
 Laserstrahl 26
 Limonene 103
 Lizenz 41
 Lizenzbestimmung 37

M

MakeHuman 70
 MakerBot 39, 43, 117, 131, 227
 Malerspachtel 34
 Manschette 224, 230
 entfernen 122
 MarkerWorld 39
 Materialfeeder 22, 32, 114

Menschen modellieren 70
 menschliche Figuren drucken 73
 Meshlab 74
 Meshmixer 75
 Meshy 77
 Modell
 aufteilen 215
 bemalen 167, 220, 234
 einfärben 156
 mehrere zu einem vereinen 160
 organisches 59
 selektieren 159
 skalieren 164
 veredeln 175
 zusammenbauen 219
 Modellierwerkzeug 110, 122, 225, 231
 Modifier 148
 MyMiniFactory 18, 39, 41, 205

N

Nachbereitung 108
 Nagelfeile 120, 137
 Napoleon 205
 NASA 18, 39, 213
 nervoussystem 222
 Netfabb 75
 Nylon 103
 Nylonpulver 26

O

Oberfläche glätten 232
 Objekt einscannen 81
 Objekt vom Druckbett lösen 105
 Organisches Modell 59

P

PA 103
 Paint 3D
 Modell herunterladen 139
 Parthenon drucken 183
 PC 106, 137
 Drucker anschließen 98
 PC (Polycarbonat) 103
 PETG 103
 Pinguin erstellen 157
 Pinsel 126
 Pinzette 35
 PLA 25, 102, 103, 105, 113, 157, 164, 218, 224, 229
 Compound 103, 115
 Gold-Optik 203
 haftet nicht 113

- mit Holzoptik 102, 115, 116, 157
- mit Kupfer-Optik 205, 221
- PLA-Objekte behandeln 124
- Plastikschlauch 30
- Polyamid 103
- Polycarbonat 103
- Polyethylenterephthalat modifiziert mit Glykol 103
- Polygon 94
- Polylactid 103
- Polypropylen 103
- Polyvinylalkohol 103
- PP 103
- Printables 39
- Prittstift 107, 224, 229
- Probleme 113
- Projekt 32, 37
- Prototyp 27
- PVA 103
- PVA-Kleber 209

R

- Rasierklinge 105, 108
- Rasierklingshalter 105, 108
 - erstellen 131
- Raumstation ISS 18
- ReCap 84
- Reinigung Drucker 108
- Relief 197
- Rendern 64
- Renkforce 104
- Renkforce Repetier Host 97
- Renkforce RF 1000 29
- Replicator 43, 117
- Rhino 75

S

- Sandpapier 120
- Saturn Connect 193
- Scannen 81, 91
- Scanner 91
- Scan-Verfahren 81
- Schachfigur 237
- Schichtdicke 26, 101, 108, 111
- Schichten 3D-Modell 97
- Schichtlinien 26
- Schleifpapier 210
- Schlüsselanhänger 48
- Schmelzschichtverfahren 21
- Schmuck 15
- Schönheitsreparaturen 219
- Schutzkappe 169
- SD-Karte 28, 155

- SD-Kartenleser 28
- Seitenschneider 35
- Selective Laser Sintering 26
- Skanect 92
- SketchUp 38, 110, 131, 169, 183
- SketchUp Free 54
- SLA 26
- SLA-Drucker 26
- Slic3r 166
- Slicer 32, 43, 229
- Slicer-Programm 97
- SLS 26
- Smartphone
 - Objekte scannen 94
- Solid Works 75
- Solltemperatur 106, 114
- Sprühfarbe 126, 234
- Spülmittel 105
- Spülschwamm 108
- Stadtbibliothek Köln 116
- Stahlwolle 210
- Standard-Cube 110, 113
- Stereolithografie 26
- STL 154, 164
- Streifenlichtscanning 82
- Stützmaterial 108, 137, 165, 231
 - entfernen 166
- Stützstruktur 25, 100, 119, 139
 - entfernen 122
- Subdivision Surface 149

T

- Telefonzange 35
- Tempel erstellen 183
- Temperatur 103
 - Druckplatte 101
- Tetrahydrofuran 125
- Textilien 17
- Thermoplastisches Elastomer 103
- THF 125
- Thingiverse 39, 43, 76, 140, 221
- Tinkercad 40
- TPE 103
- traceparts 40
- Transporthilfe 29
- Transportsicherung 29
- T-Rex-Schädel drucken 227
- Trilobit drucken 139
- TurboSquid 40

U

- Ultimaker 25, 27, 97
- Unregelmäßigkeiten im Modell beheben 155

Urheberrechtsverletzung 37
USB-Schnittstelle 28
UV-Licht 26

V

Ventilator 25, 101
Verarbeitungstemperatur 104
Verbrennungsgefahr 30
Verbundmaterial 32
Veredelung mit Farbe 126
Vibrationen 27, 31
Victoria and Albert Museum 205

W

Wanddicke 101

Wappen 197
Warping 107, 113

X

XYZprinting 27

Y

Yeggi 40
YouMagine 40

Z

ZBrush 75
Zellulare Lampe drucken 221
Zubehör 34