



Thomas  
Kaffka

3. Auflage

# 3D-Druck

Praxisbuch für Einsteiger

Modellieren | Scannen | Drucken | Veredeln

Projektdateien  
aller 3D-Modelle  
zum Download

# 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) .....	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 .....	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. . . . .	68
4.5	MakeHuman – Menschen modellieren. . . . .	75
4.5.1	Überblick über MakeHuman. . . . .	75
4.5.2	Mit MakeHuman ein Modell erstellen . . . . .	77
4.6	Alternative Programme . . . . .	80
<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 . . . . .	83
5.1.4	Laserscanner . . . . .	85
5.2	Objekt per Fotogrammetrie einscannen . . . . .	86
5.3	Objekt per Infrarotscanner einscannen . . . . .	89
5.3.1	Scanner Kinect for Xbox One. . . . .	89
5.3.2	Scanner Kinect for Xbox 360 . . . . .	94
<b>6</b>	<b>3D-Objekte drucken. . . . .</b>	<b>97</b>
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 Material Feeder 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	<b>3D-Objekte veredeln (Finishing)</b> .....	119
7.1	Vorbehandeln mit Dremel und Feile .....	119
7.2	ABS-Objekte mit Aceton behandeln .....	123
7.3	PLA-Objekte mit Heißluft behandeln .....	124
7.4	Arbeiten mit Lackfarben .....	124
7.5	Arbeiten mit Sprühfarbe aus der Dose .....	126
<b>Teil II Projekte</b> .....		129
8	<b>Rasierklingenhalter</b> .....	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	<b>Trilobit</b> .....	139
9.1	Download mit Paint 3D .....	139
9.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	142
9.3	Veredeln mit Dremel, Farbe, Pinsel und Sprühfarbe .....	144
10	<b>Kaffeetasse</b> .....	145
10.1	3D-Modell mit Blender erstellen .....	145
10.2	3D-Druck mit ABS mit Druckbettheizung .....	154
10.3	Veredeln mit dem Dremel .....	156
11	<b>Pinguin</b> .....	159
11.1	3D-Modell mit Blender erstellen .....	159
11.2	3D-Druck mit PLA mit Druckbettheizung und Stützmaterial .....	166
11.3	Veredeln mit Feile und Farbe .....	168

<b>12</b>	<b>Ersatzteil erstellen</b> .....	171
12.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen .....	171
12.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	176
12.3	Veredeln mit Feile .....	177
<b>13</b>	<b>Stilisierter griechischer Tempel</b> .....	179
13.1	3D-Modell mit SketchUp erstellen .....	179
13.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	186
13.3	Veredeln mit Feile und Pinsel .....	188
<b>14</b>	<b>Menschliche Plastik</b> .....	189
14.1	Scannen in einem 3D-Druck-Studio .....	189
14.2	3D-Druck mit Gips in einem 3D-Druck-Studio .....	191
14.3	Nacharbeiten .....	192
<b>15</b>	<b>Büste von Napoleon Bonaparte</b> .....	193
15.1	Download von MyMiniFactory .....	193
15.2	3D-Druck mit ABS mit Druckbettheizung .....	195
15.3	Veredeln mit Kupferpulver .....	196
<b>16</b>	<b>Curiosity Rover</b> .....	201
16.1	Download von der Webseite der NASA .....	201
16.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	203
16.3	Veredeln mit Dremel und Feile .....	208
<b>17</b>	<b>Zellulare Standlampe</b> .....	211
17.1	Download von Thingiverse .....	211
17.2	3D-Druck mit PLA (Kupfer-Optik) mit Druckbettheizung .....	213
17.3	Veredeln mit Modellierwerkzeug .....	215
<b>18</b>	<b>Der T-Rex-Schädel</b> .....	217
18.1	Download von Thingiverse .....	217
18.2	3D-Druck mit PLA ohne Druckbettheizung .....	219
18.3	Veredeln mit Dremel, Feile, Pinsel & Co. ....	220
<b>19</b>	<b>Schachfiguren</b> .....	227
19.1	Designgrundsätze für Schachfiguren .....	227
19.2	Individuelles Schachfigurendesign .....	229
19.3	3D-Druck und Finalisieren der Schachfiguren .....	229
19.4	Das fertige Schachspiel .....	230
	<b>Ausblick</b> .....	231

<b>A</b>	<b>Rechtliche Fragen beim 3D-Druck</b> . . . . .	233
A.1	Darf ich Objekte nachdrucken und/oder verbreiten? . . . . .	233
A.1.1	Urheberrecht . . . . .	233
A.1.2	Designrecht . . . . .	235
A.1.3	Markenrecht . . . . .	236
A.1.4	Patentrecht/Gebrauchsmusterrecht . . . . .	236
A.1.5	Wettbewerbsrecht . . . . .	237
A.2	Was muss ich bei Lizenzen beachten? . . . . .	237
A.3	Wer haftet, wenn ein 3D-Objekt Schäden verursacht? . . . . .	239
<b>B</b>	<b>Glossar</b> . . . . .	241
<b>C</b>	<b>Downloads zum Buch</b> . . . . .	245
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	247

# 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.

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 19*, 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.mitp.de/0532](http://www.mitp.de/0532)) 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

# 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 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 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.

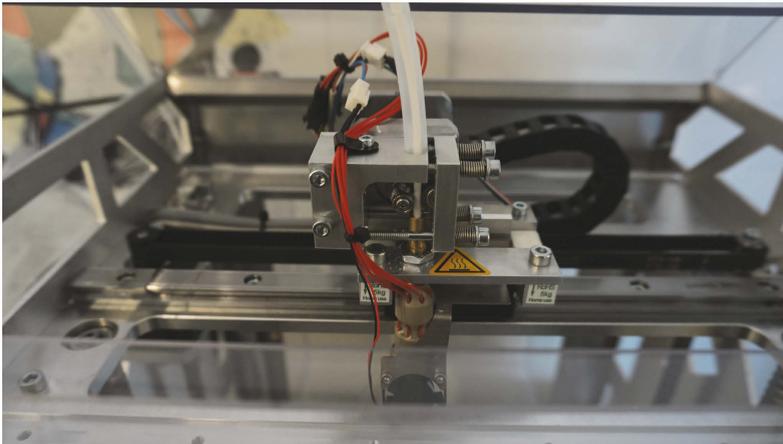
Weiterhin sind Drucker auf dem Markt, bei denen der Druckkopf nur in die Y-Richtung bewegt wird und das Druckbett in die X- sowie in die Z-Richtung (beispielsweise Renkforce RF 2000). Beim Renkforce RF 2000 sind die Material Feeder direkt über dem Druckkopf angebracht. Das hat den Vorteil, dass es so 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.

## Hinweis

Ich selbst besitze immer noch einen Renkforce RF 1000. Der begleitet mich nun schon seit vier Jahren und tut immer noch präzise seinen Dienst. Er wurde mittlerweile durch neuere Modelle abgelöst. Ich verwende ihn aber in meinem Buch teilweise als Beispiel, da durch seine offene Konstruktion die verschiedenen Bauteile sehr gut zu sehen sind. Neuere 3D-Drucker sind zumeist kompakter gebaut, mit einem geschlossenen Gehäuse.

Gedruckt wird 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 Drucker 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

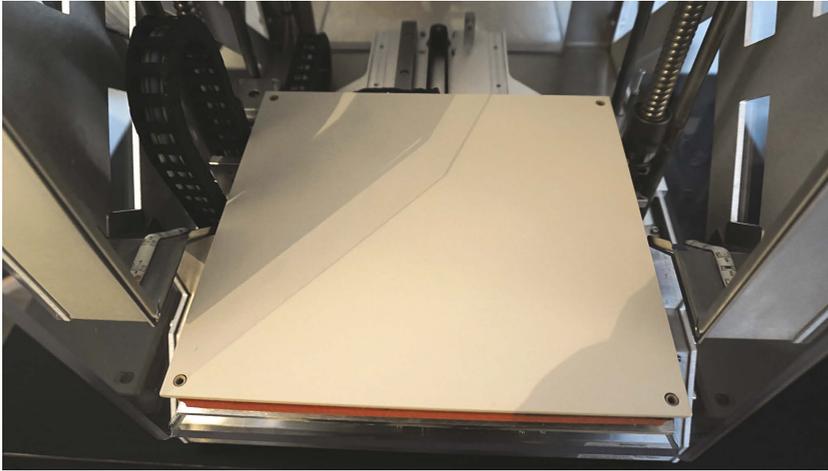


Abb. 2.4: Die Druckdüse (Extruder) des RF 1000

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).



**Abb. 2.5:** Das Druckbett des RF 1000

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 (Polylactid) 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.

# 3D-Modelle mit Software erstellen

Es gibt auf dem Markt eine ganze Reihe von Programmen, mit denen man 3D-Modelle erstellen und bearbeiten kann. Ich bespreche in den folgenden Abschnitten solche, die kostenfrei verfügbar sind, da dies Ihren Geldbeutel bezüglich Ihres neuen, interessanten Hobbys signifikant entlastet. Ich erstelle mit den Programmen jeweils ein 3D-Modell. Ich kann leider nicht den gesamten Funktionsumfang der Programme vorstellen, da dies den Rahmen des Buches sprengen würde. Meine Darstellungen sollen einen ersten Einstieg ermöglichen.

Die 3D-Modellierung ist ein weites Feld. Ich möchte hier die Grundlagen für eine weitere Beschäftigung mit diesem Thema vermitteln bzw. dazu anregen. Im zweiten Teil des Buches werde ich im Rahmen von Projekten nochmals auf einige der hier vorgestellten Programme eingehen.

## 4.1 Paint 3D

Das Programm Paint 3D ist nur im Microsoft Windows Store verfügbar und kann von dort aus installiert werden (Windows 8, 10 und 11). Dieses Programm richtet sich vornehmlich an Einsteiger in die 3D-Modellierung. Mit einfachen Methoden ist es möglich, schöne 3D-Modelle zu erstellen.

### 4.1.1 Überblick über Paint 3D

Das Hauptfenster von Paint 3D ist wie folgt aufgebaut (siehe Abbildung 4.1). In der oberen Leiste befindet sich das Menü. Der darunterliegende, weiße Bereich ist die Zeichenfläche und rechts befindet sich ein Optionsfenster.

Folgende Menüpunkte stehen Ihnen zu Verfügung.



Menü

**MENÜ:** Der Punkt MENÜ bietet u.a. die Möglichkeit, Dateien zu öffnen, zu speichern sowie zu drucken.



Pinsel

**PINSEL:** Dieser Menüpunkt bietet verschiedene Malwerkzeuge und verschiedene Farben, mit denen das Modell bemalt werden kann. Da wir im 3D-Druck nur einfarbig drucken, ist dieser Menüpunkt für uns nicht relevant.



2D-Formen

**2D-FORMEN:** Hier werden verschiedene 2D-Formen angeboten. Sie können in den Zeichenbereich gelegt werden. Sie können diese 2D-Formen auch zur Erstellung eines 3D-Modells verwenden.



**3D-FORMEN:** Dieser Punkt bietet verschiedene 3D-Formen an, die in den Zeichenbereich überführt werden können.



**AUFKLEBER:** Die Aufkleber dieses Menüpunkts können auf ein 3D- bzw. 2D-Modell geklebt werden. Dies ist ein Gestaltungsmittel für die Oberfläche von Modellen. Da wir ja nicht farbig drucken können, ist auch dieser Punkt für uns nicht relevant.



**TEXT:** Mit diesem Menüpunkt können auf dem Zeichenbereich Texte sowohl zwei- als auch dreidimensional eingegeben werden.



**EFFEKTE:** Der Punkt EFFEKTE ermöglicht es, eine bestimmte Beleuchtungsrichtung sowie Beleuchtungsfarbe einzurichten. Auch dieser Punkt ist für den 3D-Druck nicht relevant.

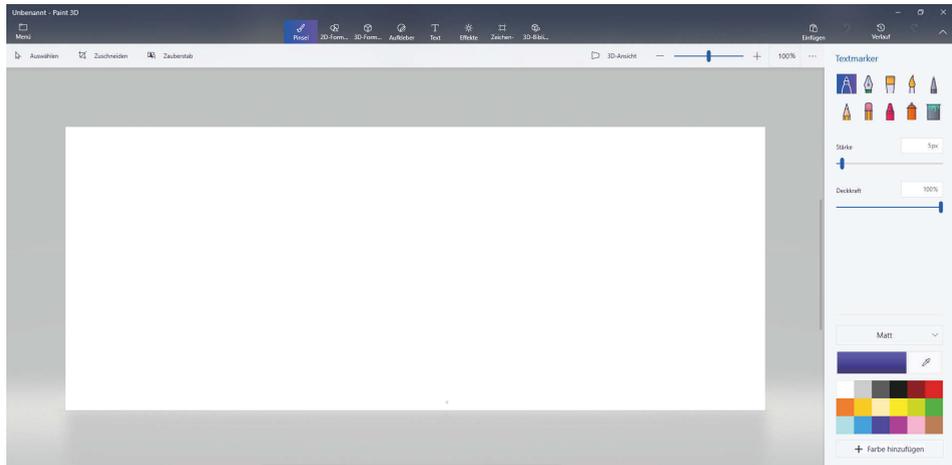


**ZEICHENBEREICH:** Bei diesem Menüpunkt kann u.a. die Größe des Zeichenbereichs festgelegt werden.



**3D-BIBLIOTHEK:** Mit diesem Menüpunkt werden Modelle aufgerufen, die aus dem Internet geladen und dem Zeichenbereich hinzugefügt werden können.

Wenn man auf einen Menüpunkt klickt (außer MENÜ), werden im rechten Fensterbereich Optionen, die zu dem Menüpunkt gehören, angezeigt.



**Abb. 4.1:** Hauptfenster von Paint 3D

## 4.1.2 Das Modell erstellen

Beim Programmstart meldet sich Paint 3D mit dem Fenster in Abbildung 4.2. Ich werde Ihnen die Funktionsweise des Programms anhand der Modellierung einer Eistüte vorstellen.

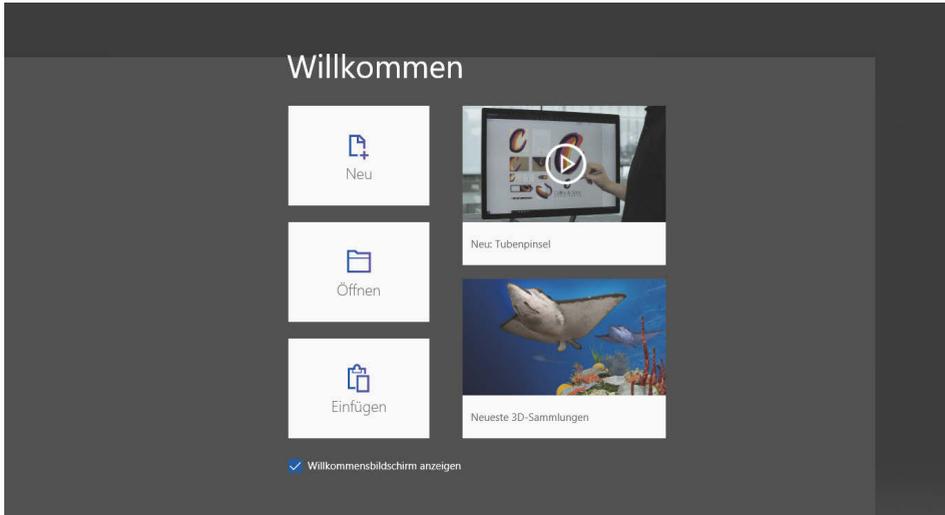


Abb. 4.2: Paint 3D

Klicken Sie auf NEU, dann wird der Zeichenbereich angezeigt. Klicken Sie im oberen Menü auf 3D-FORMEN und anschließend in der rechten Auswahlliste auf den KEGEL. Klicken Sie dann auf die Zeichenfläche. Der Kegel wird auf der Zeichenfläche in der Mitte des Bildschirms platziert, wie in Abbildung 4.3 zu sehen ist.

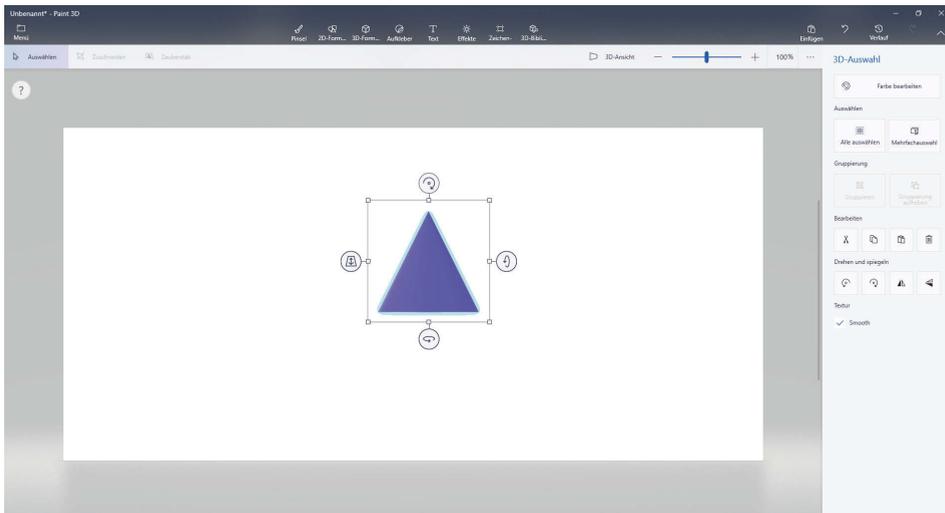


Abb. 4.3: Der Kegel auf der Zeichenfläche

Die Darstellung des Kegels wirkt zunächst zweidimensional, wenn Sie aber den Kegel mithilfe der Manipulatoren bewegen, werden Sie seine Dreidimensionalität

feststellen. Die Abbildung des Kegels wird durch vier Manipulatoren eingerahmt. Wenn Sie den oberen Manipulator (☺) anklicken und ziehen, wird der Kegel seitlich gedreht. Der rechte Manipulator (↻) dreht den Kegel nach vorne und hinten. Der untere Manipulator (☺) dreht den Kegel um die senkrechte Achse. Und der linke Manipulator (⊞) bewegt den Kegel nach vorne und hinten.

Drehen Sie den Kegel so, dass seine Spitze nach unten zeigt (beispielsweise mit dem rechten Manipulator). Der Kegel ist weiterhin mit Greifkästchen umgeben, mit denen seine Dimensionen geändert werden können. Klicken Sie mit der Maus auf das untere, mittlere Kästchen und ziehen Sie es nach unten, um dem Kegel das Aussehen einer Eiswaffeln zu geben (siehe Abbildung 4.4).

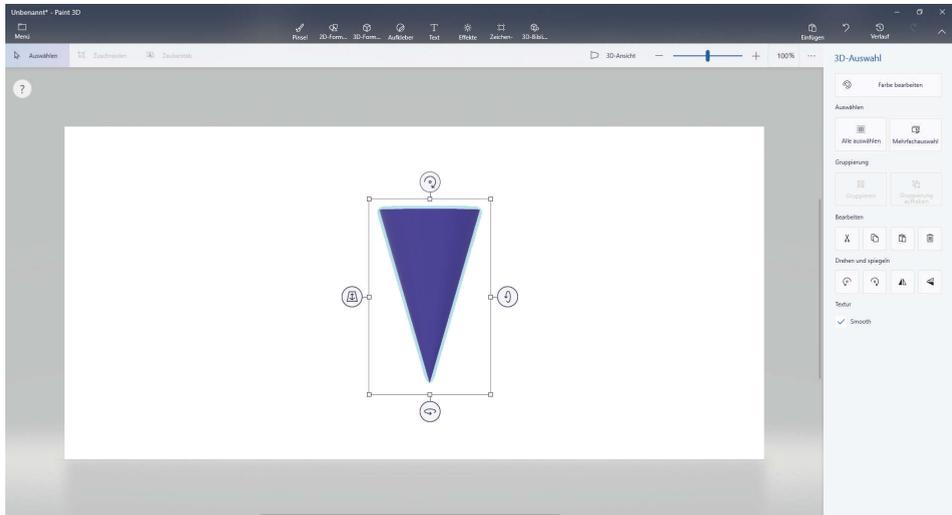


Abb. 4.4: Der Kegel hat die Form einer Eiswaffeln.

### Hinweis

Vergessen Sie nicht, Ihr Modell immer wieder zu speichern. Dazu klicken Sie oben links auf das Ordner-Symbol und anschließend auf **SPEICHERN**. Beim ersten Mal erscheint ein Fenster, in das Sie den Namen Ihres Modells eintragen.

Um die Eiswaffeln zu färben, klicken Sie im oberen Menü auf den Punkt **PINSEL**. In der rechten Auswahlleiste werden Grafiktools und Farben angezeigt. Klicken Sie auf die Farbe **BRAUN** und danach auf das **AUSFÜLLEN**-Tool (Farbeimer). Klicken Sie nun auf die Eiswaffeln und sie wird braun eingefärbt (siehe Abbildung 4.5). Ich arbeite hier mit Farbe, damit das Modell am Bildschirm schöner aussieht und man die verschiedenen Komponenten besser unterscheiden kann. Später wird es natürlich nur einfarbig gedruckt.

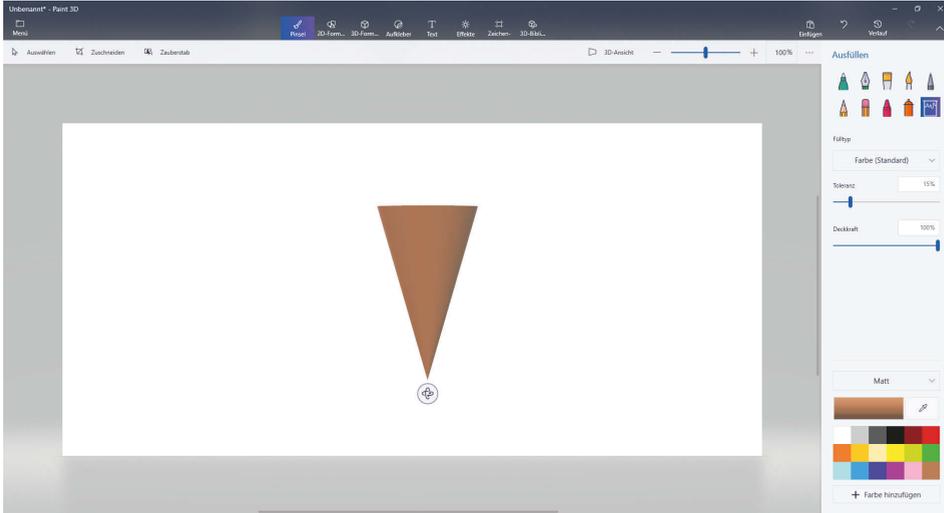


Abb. 4.5: Eistüte, braun gefärbt

Jetzt werden die Eiskugeln in die Eiswaffel gegeben. Dazu klicken Sie wieder im Menü auf den Punkt 3D-FORMEN und wählen rechts die KUGEL. Klicken Sie danach auf die Zeichenfläche und platzieren Sie die Kugel oberhalb der Eistüte.

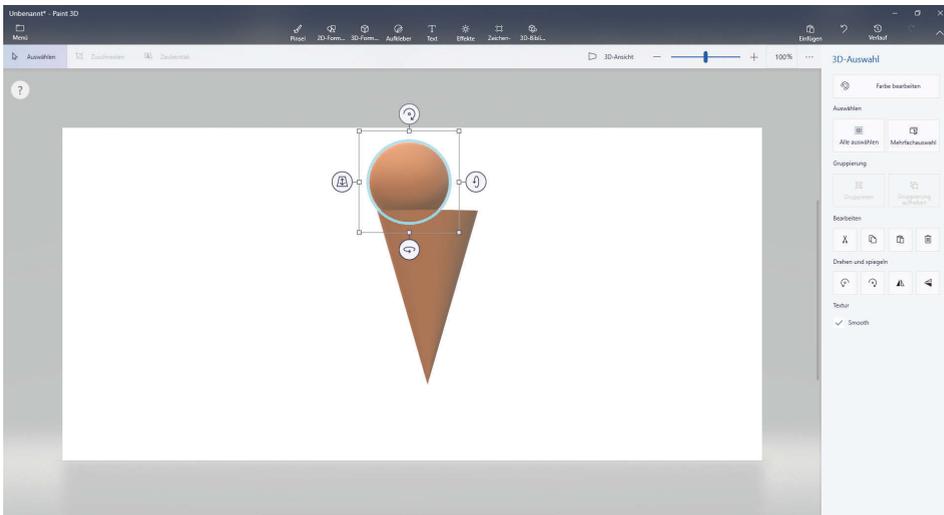


Abb. 4.6: Eistüte mit einer Eiskugel

Mit dem linken Manipulator können Sie die Eiskugel so platzieren, dass sie sich in der Eistüte befindet. Mit dem Greifkästchen rechts unten können Sie die Größe der Kugel verändern. Färben Sie die Kugel gelb ein.

## Kapitel 4

### 3D-Modelle mit Software erstellen

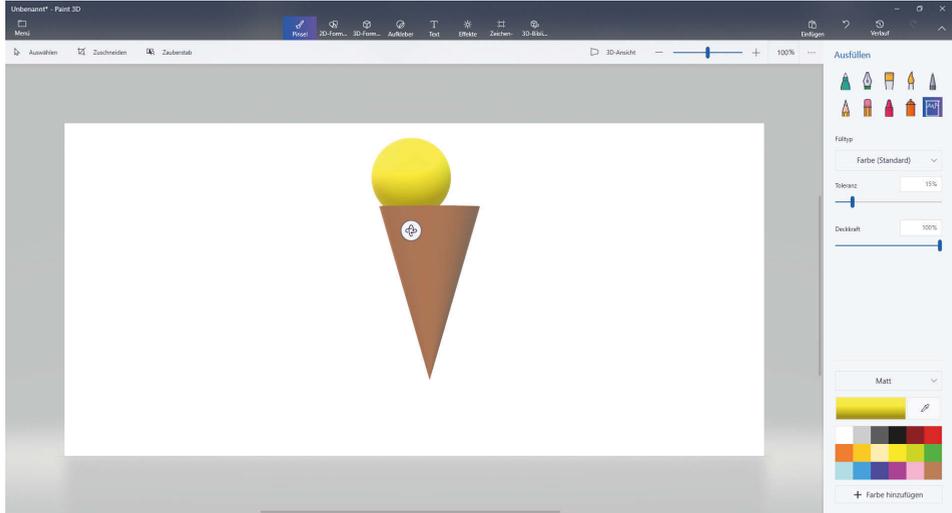


Abb. 4.7: Eistüte mit gelber Kugel

Legen Sie nach demselben Prinzip auch eine rote Kugel in die Eistüte.

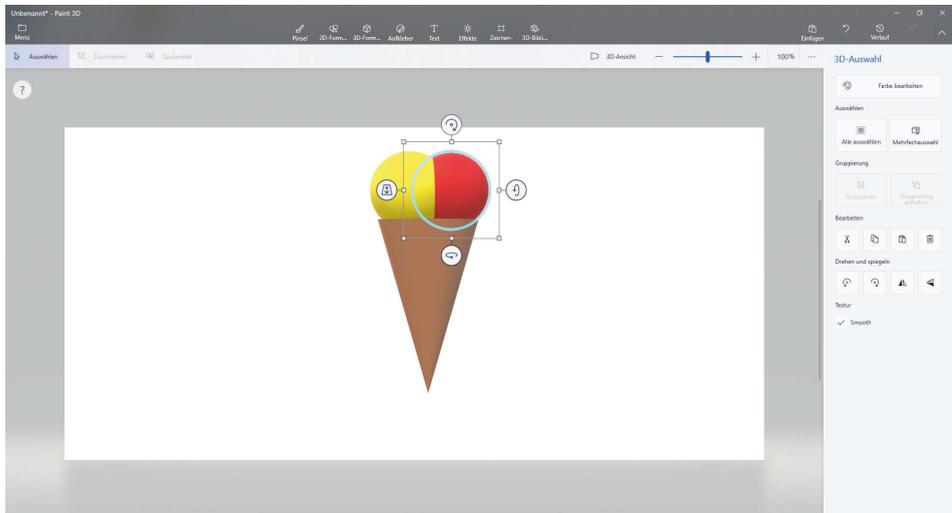
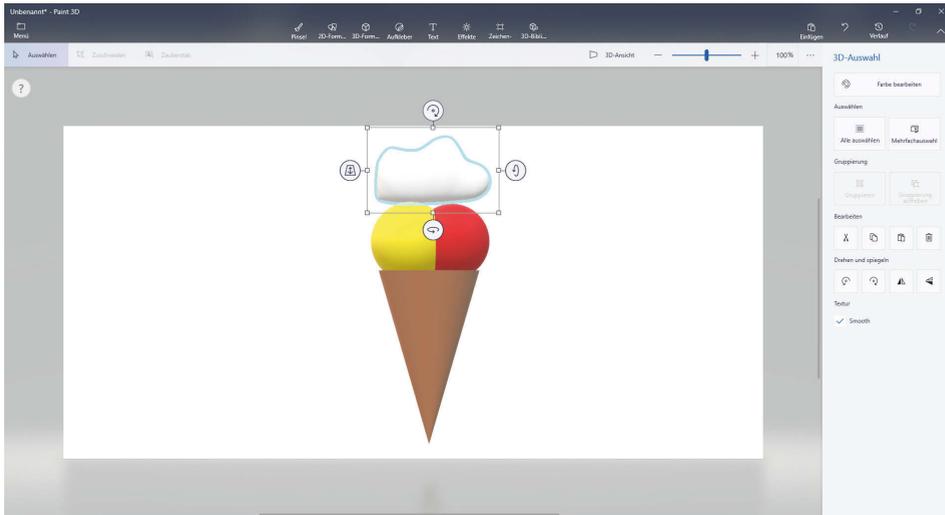


Abb. 4.8: Eistüte mit gelber und roter Kugel

Jetzt fehlt uns nur noch die Sahnehaube. Diese fügen wir per Freihandzeichnung hinzu. Klicken Sie zunächst links oben auf den AUSWÄHLEN-PFEIL, wählen Sie die drei erstellten Formen aus und ziehen Sie alles etwas nach unten. Klicken Sie auf den Menüpunkt 3D-FORMEN und dann auf 3D-SKIZZE WEICHE KANTE. Damit wird ein eher an den Kanten abgerundetes 3D-Modell gezeichnet.

Nun können Sie eine Freihandzeichnung für die Sahnehaube erstellen. Beginnen Sie mit dem Zeichnen, indem Sie oberhalb der Kugeln in die Zeichenfläche klicken. Führen Sie dann einen Kurvenzug aus, der in sich selbst endet (vorher können Sie bereits als Farbe WEIß wählen). Sie erhalten etwa das Ergebnis aus Abbildung 4.9.



**Abb. 4.9:** Eistüte mit Sahnehaube

Die Sahnehaube ist im Moment noch sehr flach. Sie wurde ja zweidimensional gezeichnet und ist mit der Ausdehnung nach hinten noch etwas dünn. Sie können sie verbreitern, indem Sie sie mit dem unteren Manipulator um 90° drehen und dann mit dem linken und rechten Greifkästchen verbreitern. Drehen Sie danach die Sahnehaube wieder zurück. Fertig ist unsere Eistüte.

Sie können sich die Eistüte von allen Seiten ansehen, indem Sie sämtliche Formen auswählen (die Formen nacheinander anklicken und dabei die Taste **[Strg]** betätigen) und dann am unteren Manipulator drehen. Eventuell müssen Sie danach noch die einzelnen Elemente der Eistüte besser platzieren.

Um das Modell zu speichern, klicken Sie wieder auf das Ordnersymbol  links oben und dann auf **SPEICHERN UNTER**. Klicken Sie auf **3D-MODELL**. Im sich dann öffnenden Fenster wählen Sie als Dateianhang **FBX** oder **3MF**. Klicken Sie darauf und exportieren Sie das Modell. Das exportierte Format hängt davon ab, mit welchem Programm Sie später weiterarbeiten möchten. Eine **FBX**-Datei ist für den Import in Blender vorgesehen, falls Sie mit Blender weiterarbeiten möchten. **3MF** benötigen Sie, wenn Sie beispielsweise (wie weiter unten) mit 3D Builder weiterarbeiten wollen.

Sie müssen aus der FBX- bzw. 3mf-Datei eine STL-Datei machen, damit diese vom Slicer-Programm geladen werden kann, mit dem das Modell für den Druck vorbereitet wird. Wie das geht, beschreibe ich im Abschnitt 6.1.

### 4.1.3 Fertige Modelle verwenden

Abschließend möchte ich Sie noch darauf hinweisen, dass Sie mit Paint 3D auch Modelle aus dem Internet laden können. Diese Modelle können Sie laden und beliebig verändern und dann ausdrucken. Rufen Sie dazu über das Menü den Punkt 3D-BIBLIOTHEK  auf. Es erscheinen dann Kategorien der Modelle, die Sie importieren können. Klicken Sie auf die Kategorie WELTRAUM. Als Nächstes klicken Sie auf das Modell RETRO-UFO. Das Ufo erscheint dann auf der Zeichenfläche.

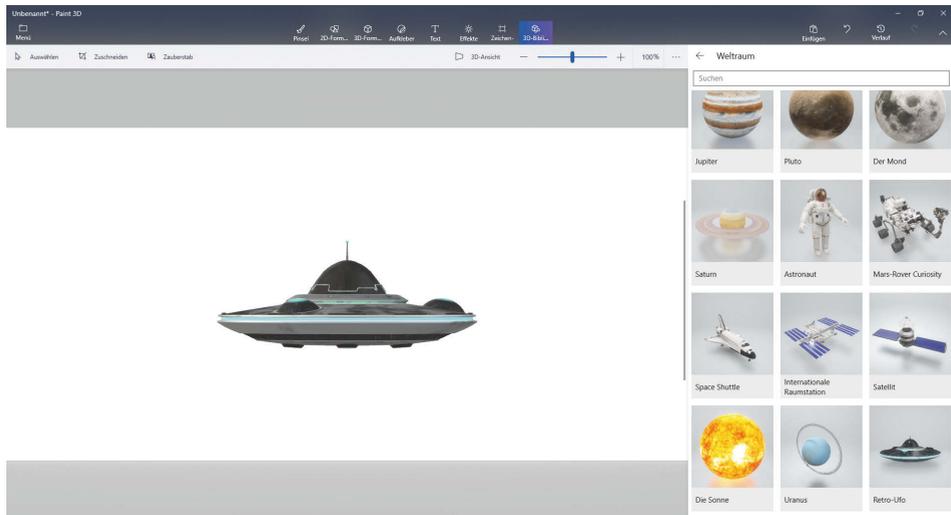


Abb. 4.10: Ein Ufo aus dem Internet

## 4.2 3D Builder

Das Programm 3D Builder ist in Windows 10 bereits installiert. Wenn es in Windows 11 nicht vorinstalliert sein sollte, können Sie es aus dem Windows Store installieren. Mit dem Programm kann man, wie mit Paint 3D, 3D-Modelle entwerfen. Weiterhin kann man mit ihm den Druck verschiedener 3D-Drucker steuern (es ist dann kein Slicer-Programm notwendig) oder den Druck eines 3D-Modells über das Internet bestellen. Dieses Programm kann als Ergänzung bzw. Ersatz von Paint 3D angesehen werden.

## 4.2.1 Überblick über 3D Builder

Wenn Sie 3D Builder starten, meldet es sich mit dem folgenden Fenster (siehe Abbildung 4.11). In der obersten Zeile befindet sich das Menü. Darunter liegt eine menüabhängige Optionenzeile. Unter dieser Zeile befindet sich der Arbeitsbereich.

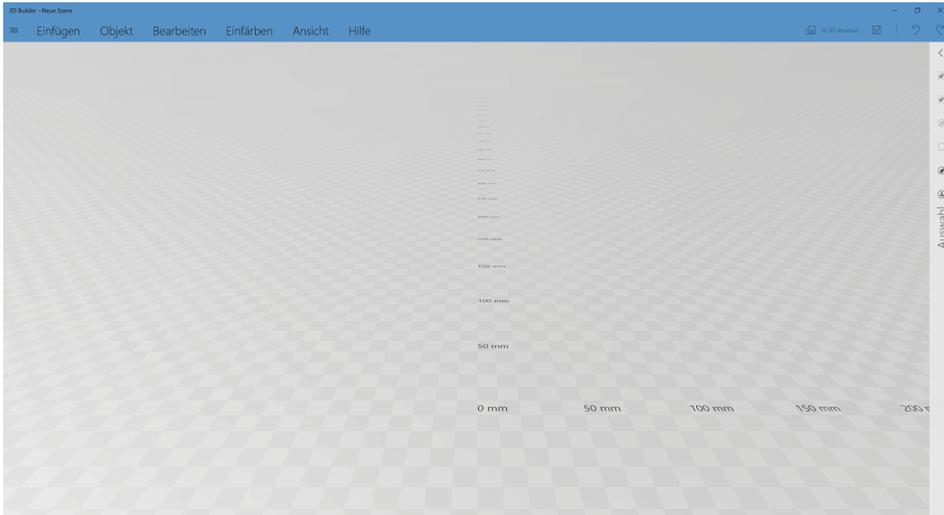


Abb. 4.11: Fenster von 3D Builder

Das Menü von 3D Builder besteht aus den folgenden Reitern:

- **EINFÜGEN:** Mit diesem Menüpunkt können verschiedene 3D-Formen in den Arbeitsbereich eingefügt werden.
- **OBJEKT:** Mit dem Menüpunkt OBJEKT können Modelle bzw. einzelne Formen u.a. dupliziert, kopiert oder gelöscht werden.
- **BEARBEITEN:** Der BEARBEITEN-Menüpunkt bietet u.a. die Möglichkeit, Modelle zusammenzuführen bzw. aufzuteilen.
- **EINFÄRBN:** Mit diesem Menüpunkt können Formen eingefärbt werden. Aber denken Sie daran, dass wir einfarbig drucken und ein Einfärben für uns daher nicht relevant ist.
- **ANSICHT:** Dieser Punkt bietet verschiedene Ansichtsoptionen. Sie können beispielsweise Schatten ein- und ausschalten, Farben ein- und ausschalten oder das Modell als Drahtgittermodell anzeigen.
- **HILFE:** Es werden verschiedene Hilfoptionen angeboten, u.a. der Zugriff auf das Benutzerhandbuch im Internet.

## 4.2.2 Bearbeitung eines 3D-Modells

Ich möchte 3D Builder hier nutzen, um unsere im Abschnitt 4.1 erstellte Eistüte weiter zu bearbeiten. Im Moment kann sie noch nicht gedruckt werden, da sie auf der Spitze der Eiswaffel steht. Wenn Sie das Programm aufrufen, sehen Sie das Fenster der Abbildung 4.12.

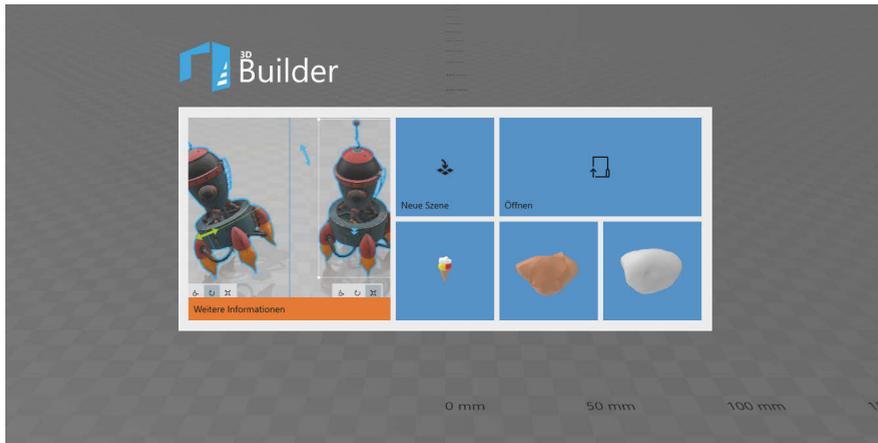


Abb. 4.12: Das Startfenster von 3D Builder

Klicken Sie auf NEUE SZENE. Klicken Sie dann im EINFÜGEN-Menü auf + HINZUFÜGEN. In dem erscheinenden Fenster klicken Sie auf OBJEKT LADEN. Navigieren Sie zur Datei Eistüte .3mf, klicken Sie auf diese und klicken Sie dann auf den Button ÖFFNEN. Unsere Eistüte wird wie in Abbildung 4.13 angezeigt.

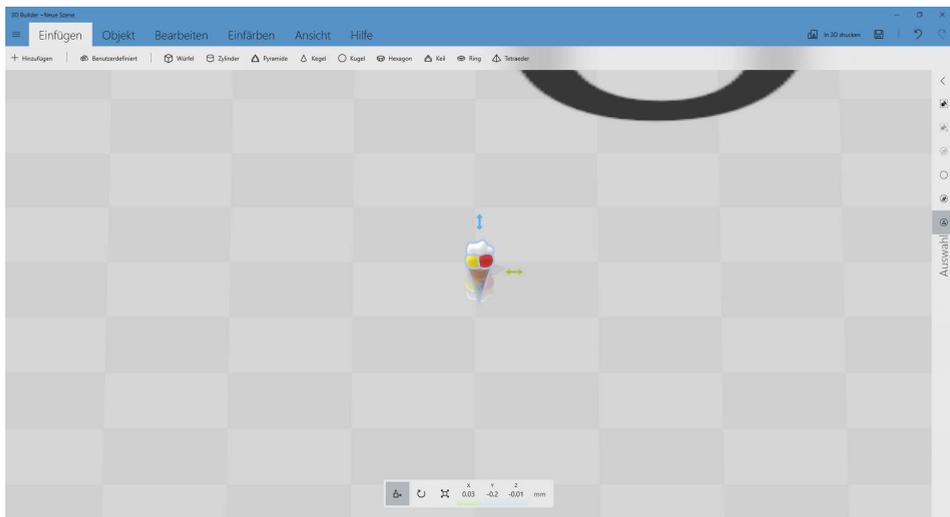


Abb. 4.13: Die Eistüte in 3D Builder

# Stichwortverzeichnis

2D-Form 45  
3D Builder 51, 52, 203  
    skalieren 141  
3D Druck Service 116  
3D GENERATION GmbH 189  
3D Scan 91, 92  
3D Systems Sense 2 89  
3D-Drucker mit zwei Extrudern 168  
3D-Druckshop 116  
3D-Druck-Studio 189  
3D-Form 46, 53  
3D-Freiform-Modellierwerkzeuge 81  
3D-Modell 11, 45, 118, 219  
    aus dem Internet 35, 139  
    aus Fotos 83  
    drucken 97  
    Druckvorbereitung 97  
    Fotogrammetrie 86  
    für Druck vorbereiten 81  
    kostenlos 39  
    mit SketchUp 131, 179  
    organisches 81  
3D-Modell einer Person 189  
3D-Modelle  
    geometrische 59  
    glätten 81  
3D-Modellierung 21, 45  
3D-Objekt 11, 116  
    drucken 108  
    lackieren 124  
    unsauber gedruckt 114  
    verbessern 119  
    veredeln 137  
3DP 26  
3DS Max 80  
3D-Scanner 189  
3MF 141  
3mf 51

## A

Abrieb 23  
ABS 102, 103, 195  
ABS haftet nicht 114

ABS-Objekte glätten 123  
Aceton 109, 114, 123, 157  
Achsen 21  
Acrylnitril-Butadien-Styrol 103  
Airbrush 127  
Akropolis 179  
Architektur 16, 26, 59  
Artec 38  
Ausdehnungskoeffizient 108  
Autodesk 86  
Automobilindustrie 15  
Avatar 190

## B

Beamer 26  
Bedienungsanleitung 30, 32  
Beheizbares Druckbett 30, 106, 113  
Beispielsammlung 112  
Betriebsanleitung 31  
Bewegungsgeschwindigkeit 101  
Bibliothek 116  
Bier 105  
Bilderrahmen erstellen 60  
Blender 51, 64, 145, 159  
    Funktionen 67  
BlendSwap 36  
Blue Tape 33, 105  
Brim-Element 102  
Budget 27, 29  
Büste drucken 193  
Büste Napoleon 194

## C

CAD 36, 37, 81, 190  
Cellular Lamp 212  
cgtrader 36  
Compound-PLA 159  
Computer Aided Design 36  
Creative Commons Lizenz 35  
Cube 111  
Cura 41, 97, 154, 166, 213, 219  
    skalieren 142  
Curiosity Rover 186, 201

**D**

Digital Light Projection 26  
 DLP 26  
 DLP-Drucker 26  
 Download 35  
 Download Modell 202  
 Drahtgittermodell 53, 67  
 Dremel 109, 119, 156, 221  
 Druck 97  
   Troubleshooting 113  
   unsauber 119  
 Druckabbruch 28  
 Druckauftrag 28  
 Druckbett 22, 25, 108  
   beheizbares 113  
 Druckbett reinigen 108  
 Druckbettheizung 28, 103, 105, 114, 214  
 Druckbett-Temperatur 105  
 Druckdüse 23  
 Druckdüse verstopft 115  
 Druckeinrichtung 100  
 Drucker aufbauen 29  
 Drucker-Modell 98  
 Druckfehler beseitigen 220  
 Druckgeschwindigkeit 101  
 Druckkopf 22, 24  
 Druckparameter 33, 101, 110, 213, 219  
 Druckphasen 104  
 Druckplattenhaftungstyp 102  
 Druckprofile 168  
 Druckreihenfolge 102  
 Druckreste 112, 138  
 Druck-Service 116  
 Druckshop 116  
 Drucktemperatur 101, 104  
 Druckverfahren 116  
 Druckvolumen 27, 29, 219  
 Druckvorbereitung 58  
 Druckvorgang 106  
 Druckzeit 214  
 Durchlassdurchmesser 24  
 Düse 102

**E**

Ecken 67  
 eigene Projekte 231  
 Ersatzteile drucken 171  
 Experiment 110, 113  
 Extruder 22, 24  
   Pickel oder Schlaufen 121  
   zieht Fäden 121  
 Extruderdüse reinigen 108  
 Extrusion Multiplier 155

**F**

Farbdruck 26  
 Farbe 125  
 FBX 51, 77  
 FDM 21, 100  
 Feile 109, 119, 156, 168, 215, 222  
 FFF 21, 25  
 Filament 23, 97, 102, 110, 114, 115, 155  
 Filament entfernen 104  
 Filament neu einsetzen 113  
 Filament springt aus dem Material Feeder  
   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 67  
 Flex 103  
 Flussgeschwindigkeit 101  
 Fotogrammetrie 83, 86, 189  
 Fotovorlage 145  
 Freihandzeichnung 50  
 Fühlerlehre 31, 33  
 Führungsketten 29  
 Fülldichte 101  
 Füllmaterial 106  
 Füllstruktur 106  
 Fused Deposition Modelling 21  
 Fused Filament Fabrication 21

**G**

Gcode 33, 97, 102, 106, 137, 142, 155  
 Gehäusematerial 29  
 Geometrische 3D-Modelle 59  
 Geschenk 227  
 Geschwindigkeit 33  
 Gips-Drucker 26  
 Gipsfigur 189  
 Gips-Objekt 191  
 Gittermodell 160  
 Gitternetz 71  
 Gold-Effekt 126  
 GrabCAD 36  
 Granit-Effekt 126, 144, 224  
 Grundform festlegen 172  
 Grünspan 193, 199

**H**

Haarspray 105  
 Handyhülle 27  
 Harz 26  
 Haushaltsgegenstände 171  
 Heißluftföhn 124  
 Heizeinrichtung 24  
 Henkel 153  
 High-Impact Polystyrene 103  
 HIPS 103  
 Holzoptik 102

**I**

iMakr 37  
 Infill 106, 114  
 Infrarotscan 89  
 Infrarotscannen 83  
 Infrarotscanner 83  
 Internet 52  
 Internetplattform 35

**K**

Kabelbruch 29  
 Kabelführung 29  
 Käfer modellieren 68  
 Kaffeetasse erstellen 145  
 Kalibrieren 31  
 Kante glätten 157  
 Kanten 67  
 Kanten abrunden 150  
 Kauf 27  
 Kaufberatung 27  
 Kinect Adapter für Xbox One 89  
 Kinect for Xbox 360 89, 94  
 Kinect for Xbox One 89  
 Kinect-Configuration-Verifier-Tool 89  
 Kreppband 105, 125  
 Küchenpapier 108  
 Kühlung 101  
 Kunstobjekt 18, 26, 211  
 Kupfer 193, 197  
 Kupferfilament 32  
 Kupferpulver 197

**L**

Lackieren 124  
 Lärmpegel 31  
 Laser 26  
 Laserscanning 86  
 Laserstrahl 26  
 Limonene 103  
 Lizenz 39

Lizenzbestimmung 35

**M**

MagicBox 123  
 MakeHuman 75  
 MakerBot 37, 41, 117, 131, 217  
 Malerspachtel 33  
 Malwerkzeuge 45  
 Manipulator 48  
 Manschette 157, 214, 220  
 Manschette entfernen 122  
 Material Feeder 22, 32, 114  
 Menschen modellieren 75  
 menschliche Figuren drucken 79  
 Meshlab 80  
 Meshmixer 81  
 Microsoft Windows Store 45, 52, 92  
 Modell  
   aufteilen 55, 203  
   bemalen 169, 209, 224  
   einfärben 157  
   mehrere zu einem vereinen 161  
   organisches 64  
   selektieren 161  
   skalieren 166  
   speichern 206  
   veredeln 177  
   zusammenbauen 208  
 Modellierwerkzeug 110, 122, 215, 221  
 Modifier 148  
 MyMiniFactory 18, 37, 39, 193

**N**

Nachbereitung 108  
 Nagelfeile 120, 137  
 Napoleon 193  
 NASA 18, 37, 201  
 nervoussystem 212  
 Netfab 81  
 Nylon 103  
 Nylonpulver 26

**O**

Oberfläche glätten 222  
 Objekt einscannen 83  
 Objekt vom Druckbett lösen 105  
 Organisches Modell 64

**P**

PA 103  
 Paint 3D 45, 52  
   Modell herunterladen 139

Parthenon drucken 179  
 PC 106, 137  
     Drucker anschließen 98  
 PC (Polycarbonat) 103  
 PETG 103  
 Pinguin erstellen 159  
 Pinsel 125  
 Pinzette 34  
 PLA 25, 102, 103, 105, 113, 159, 166, 214, 219  
 PLA Compound 103, 115  
 PLA haftet nicht 113  
 PLA mit Holzoptik 102, 115, 116, 159  
 PLA mit Kupfer-Optik 193, 211  
 PLA-Objekte behandeln 124  
 Plastikschlauch 30  
 Polyamid 103  
 Polycarbonat 103  
 Polyethylenterephthalat modifiziert mit  
     Glykol 103  
 Polygon 96  
 Polylactid 103  
 Polypropylen 103  
 Polyvinylalkohol 103  
 PP 103  
 Prittstift 107, 214, 219  
 Probleme 113  
 Profil 101  
 Projekt 32, 35  
 Prototyp 27  
 PVA 103  
 PVA-Kleber 197

## R

Rasierklinge 105, 108  
 Rasierklingenhalter 105, 108  
 Rasierklingenhalter erstellen 131  
 Raumstation ISS 18  
 ReCap 86  
 Reinigung Drucker 108  
 Rendern 69  
 Renkforce 104  
 Renkforce Repetier Host 97  
 Renkforce RF 1000 22, 29  
 Replicator 41, 117  
 Rhino 81

## S

Sandpapier 120  
 Saturn Connect 189  
 Scannen 83, 93  
 Scanner 93  
 Scan-Verfahren 83  
 Schachfigur 227

Schichtdicke 26, 101, 108, 111  
 Schichten 3D-Modell 97  
 Schichtlinien 26  
 Schleifpapier 198  
 Schmelzschichtverfahren 21  
 Schmuck 15  
 Schönheitsreparaturen 208  
 Schutzkappe 171  
 Sculptris 81  
 SD-Karte 28, 155  
 SD-Kartenleser 28  
 Seitenschneider 34  
 Selective Laser Sintering 26  
 Skalieren 58  
 Skanect 94  
 SketchUp 36, 110, 131, 171, 179  
 SketchUp Free 59  
 SLA 26  
 SLA-Drucker 26  
 Slic3r 155, 168  
 Slicer 32, 41, 52, 219  
 Slicer-Programm 97  
 SLS 26  
 Solid Works 81  
 Solltemperatur 106, 114  
 Sprühfarbe 126, 224  
 Spülmittel 105  
 Spülschwamm 108  
 Stadtbibliothek Köln 116  
 Stahlwolle 198  
 Standard-Cube 110, 113  
 START 22, 27  
 Stereolithografie 26  
 STL 52, 154, 165  
 Streifenlichtscanning 83  
 Stützmaterial 108, 137, 167, 221  
 Stützmaterial entfernen 168  
 Stützstruktur 25, 100, 119  
 Stützstruktur entfernen 122  
 Subdivision Surface 149

## T

Teilungsebene 55  
 Telefonzange 34  
 Tempel erstellen 179  
 Temperatur 103  
 Temperatur Druckplatte 101  
 Tetrahydrofuran 124  
 Textilien 17  
 Thermoplastisches Elastomer 103  
 THF 124  
 Thingiverse 37, 41, 211  
 Tinkercad 37

TPE 103  
traceparts 37  
Transporthilfe 29  
Transportsicherung 29  
T-Rex-Schädel drucken 217  
Trilobit drucken 139  
TurboSquid 38

**U**

Ultimaker 25, 27, 97  
Unregelmäßigkeiten im Modell beheben 156  
Urheberrechtsverletzung 35  
USB-Schnittstelle 28  
UV-Licht 26

**V**

Ventilator 24, 33, 101  
Verarbeitungstemperatur 104  
Verbrennungsgefahr 30  
Verbundmaterial 32  
Veredelung mit Farbe 125

Vibrationen 27, 30  
Victoria and Albert Museum 193  
Viewshape 38

**W**

Wanddicke 101  
Warping 107, 113, 188

**X**

XYZprinting 27  
XYZprinting 3D Handscanner 89

**Y**

Yeggi 38  
YouMagine 38

**Z**

ZBrush 82  
Zellulare Lampe drucken 211  
Zubehör 33