



Trainers for Visually Impaired Students Introduce 3D Printing

Tutorial Modul 3 Einführung in FDM 3D-Slicer-Software

Tutorial für den T4VIS-In3D Trainer-Kurs

Herausgegeben vom
T4VIS-In3D Projektkonsortium

Das Projekt „T4VIS-In3D“ wurde vom „ERASMUS+“-Programm der Europäischen Kommission kofinanziert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung trägt allein der Verfasser. Die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Dieses Tutorial wird vom T4VIS-IN3D Projektkonsortium herausgegeben.

Lizenzierung

“Trainers for Visually Impaired Students Introduce 3D Printing” ist lizenziert unter:
[Attribution-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-SA 4.0\)](#)



Gedruckt:

Juni 2021 durch Berufsförderungswerk Düren gGmbH

Das T4VIS-In3D Projektkonsortium:

Berufsförderungswerk Düren gGmbH (Projekt Koordination)

Karl-Arnold-Str. 132-134, D52349 Düren, Deutschland, <http://www.bfw-dueren.de>

Fundacion ASPAYM Castilla Y Leon

C/ Severo Ochoa 33, Las Piedras 000, 47130, Simancas Valladolid, Spanien, <https://www.aspaymcyll.org/>

Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen Österreichs

Jägerstraße 36 - 1200, Wien, Österreich, <https://www.hilfsgemeinschaft.at/>

Instituttet for Blinde og Svagsynede, IBOS

Rymarksvej 1, 2900, Hellerup, Dänemark, <https://www.ibos.dk>

Istituto Regionale Rittmeyer per i ciechi di Trieste

Viale Miramare 119, 34136 Trieste, Italien, <http://www.istitutorittmeyer.it/>

NRCB

24 Landos Str., Plovdiv, 4006, P. Box 11, Bulgarien, <http://www.rehcenter.org>

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Allgemeines	4
1.1 Unterschiede bei FDM-Slicern	5
1.2 Gemeinsamkeiten bei FDM-Slicern	6
2 Bedienung eines FDM-Slicers am Beispiel von Cura	8
2.1 Objekte laden und korrekt positionieren	8
2.1.1 „Objekt verschieben“-Option (Move)	9
2.1.2 „Objekt skalieren“-Funktion (Scale)	10
2.1.3 „Objekt rotieren“-Funktion (Rotate)	10
2.1.4 „Objekt spiegeln“-Funktion (Mirror)	11
2.1.5 Positionierung überdimensionierter Bauteile	11
2.1.6 Das Kontextmenü	13
2.2 Slicen eines Modells	14
2.3 Überprüfung des Slice-Ergebnis	17
3 Abbildungsverzeichnis	19

1 Allgemeines

Slicer-Software bezeichnet alle Programme, die eine Umwandlung von Objektdateien in maschinenspezifische Anweisungen für den Drucker ermöglichen. Die Slicer Software generiert somit den erforderlichen Maschinencode für spezifische Drucker, der sämtliche Anweisungen zur Bewegung des Extruders, der Druckplatte sowie der Temperaturregelung beinhaltet. Diese Informationen werden für das zu druckende Modell schichtweise erzeugt. In der Schichtdarstellung wird das Modell in einzelnen Schichten dargestellt, was den Namen dieser Art von Software erklärt („slice“ engl. für „Scheibe“, „Schicht“).

In der Regel wird jeder 3D-Drucker mit einer Slicer-Software, die bereits vom Hersteller auf das Gerät optimal abgestimmt wurde, geliefert.

Dennoch ist es erforderlich, die Bedienung dieser Software zu erlernen, um ein optimales Druckergebnis zu erzielen.

Aufgrund der Vielzahl an auf dem Markt erhältlicher Slicer-Software sowie deren kurzer Update-Zyklen wird hier im Wesentlichen auf jene Funktionen dieser Softwaretypen eingegangen, die zur Erstellung taktiler Modelle besonders relevant sind.

Generell gibt es frei verfügbare und proprietäre Slicer-Software. Bei den frei verfügbaren Optionen gilt es zwischen Open-Source-Slicern und frei gehandelten Slicern zu unterscheiden. Letztere werden von Geräteherstellern kostenfrei zum Download angeboten. Diese Slicer unterstützen die Geräte des Herstellers optimal, können jedoch auch auf Geräte anderer Hersteller angepasst werden. Der populärste Vertreter dieser Softwareart ist sicherlich Cura von der niederländischen Firma Ultimaker. Aus diesem Grund wird diese Slicer-Software im weiteren Verlauf dieses Moduls als Beispiel herangezogen.

Weitere FDM-Slicer von 3D-Drucker-Herstellern sind z.B.:

1. Prusa Slicer <https://github.com/prusa3d/Slic3r/releases>
2. IdeaMaker <https://www.raise3d.com/ideamaker/>

Zu den frei verfügbaren FDM-Slicern zählen u.a.:

1. Slic3r <http://slic3r.org/>
2. Craftware <https://craftunique.com/craftware/>
3. Repetier Host <https://www.repetier.com/download-now/>

Der wohl populärste proprietäre FDM-Slicer ist:

Simplify3D <https://www.simplify3d.com/>

FDM-Slicer erstellen eine textbasierte Datei, die auf dem G-code zur Steuerung von CNC-Maschinen basiert. Diese Datei beinhaltet alle Steuerbefehle und ist auf die Geräteparameter des verwendeten 3D Druckers bezogen. Somit kann eine Datei, die durch einen Slicer erstellt wurde, nur für denselben Druckertyp verwendet werden.

Der folgende Abschnitt zeigt einen Ausschnitt einer G-code-Datei. Bei den Textelementen nach dem Strichpunkt handelt es sich um Kommentare, die den jeweiligen Steuerbefehl erklären.

Gewöhnlich arbeiten nur erfahrene Anwender mit G-code. Eine Übersicht über verfügbare Steuerbefehle ist unter folgendem Link zu finden:

<https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Gcode>

```
;Generated with Cura_SteamEngine  
4.9.1  
M104 S210  
M105  
M109 S210  
M82 ;absolute extrusion mode  
;Sliced at: Tue 15-06-2021 12:23:24  
G21 ;metric values  
G90 ;absolute positioning  
M82 ;set extruder to absolute mode  
M107 ;start with the fan off  
G1 Z5.0 F1800 ;move Z to 5mm  
G28 X0 Y0 F1800 ;move X/Y to min  
endstops  
G28 Z0 ;move Z to min endstop  
G92 E0 ;zero the extruded length
```

1.1 Unterschiede bei FDM-Slicern

Die verschiedenen FDM-Slicer unterscheiden sich in ihrer graphischen Benutzeroberfläche (GUI) sowie in ihrer Bedienung. Einige sind relativ einfach zu benutzen, andere erfordern höhere Anwenderkenntnisse, um die Software optimal nutzen und damit beste Ergebnisse erzielen zu können.

Oftmals verwenden die Slicer auch unterschiedliche Bezeichnungen für identische Funktionen. Ausschlaggebend ist jedoch auf welchem Algorithmus die Erstellung des G-codes basiert. Der zurzeit am weitesten verbreitete Algorithmus ist jener von Slic3r.

Aufbau der Benutzeroberfläche von Ultimaker Cura

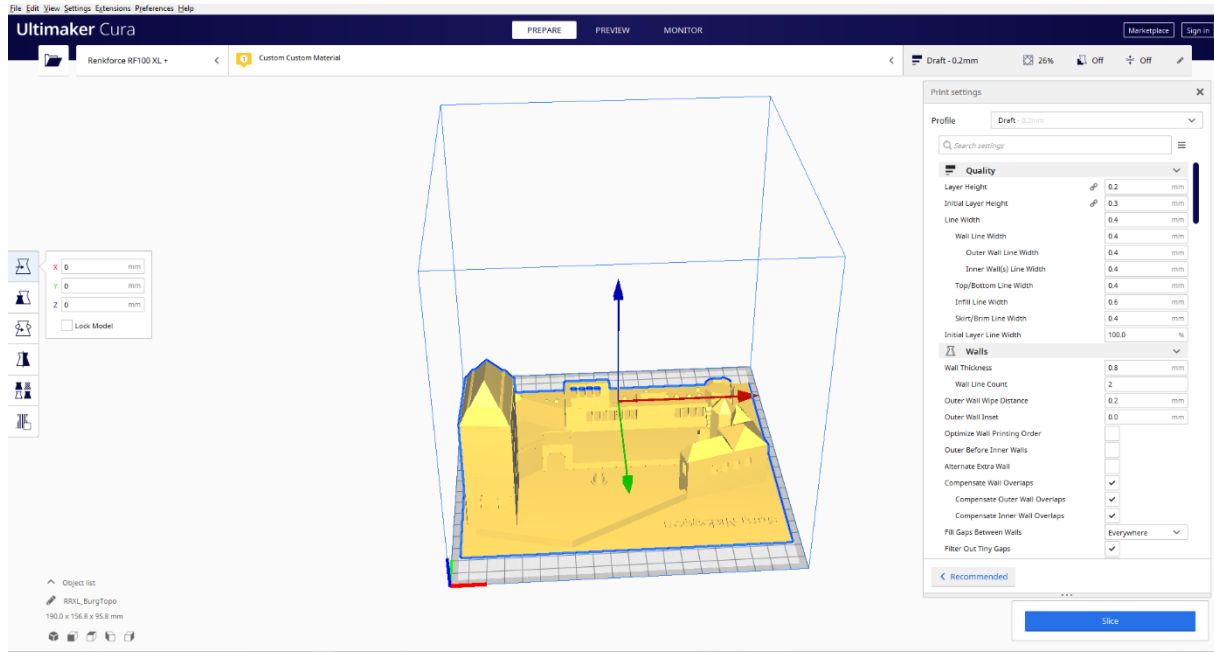


Abbildung 1 Ultimaker Cura

Die nachfolgende Grafik zeigt die GUI des Repetier Host FDM-Slicers zum Vergleich.

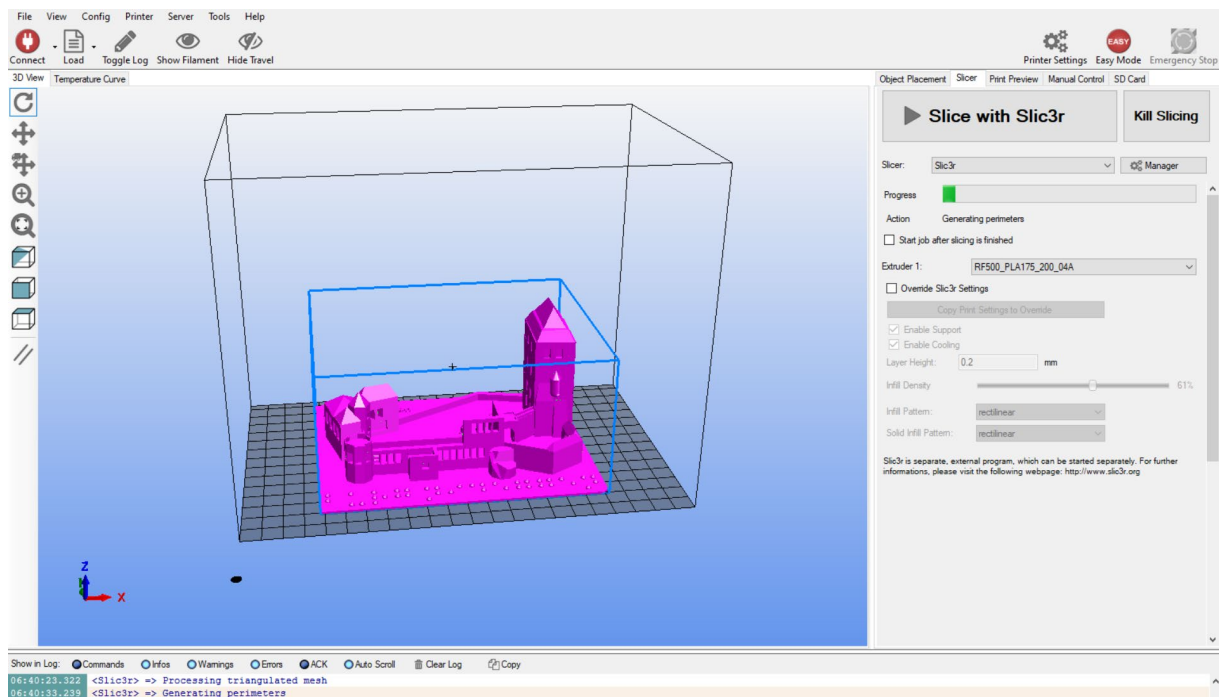


Abbildung 2 Repetier Host

1.2 Gemeinsamkeiten bei FDM-Slicern

Obwohl die diversen Slicer ihre eigene GUI besitzen, verfügen sie in der Regel dennoch über die folgenden gemeinsamen Funktionen:

1. Bauraumansicht zur Ansicht des Volumens- und (nach dem Slicen) des Schichtmodells
2. Einstellungsmodi zur Festlegung von Parametern für:
 - Extruder- und Bauplattentemperatur
 - Material-Extrusion
 - Wandstärken
 - Füllung/ Innendichte (Infill)
 - Unterstützungsmaterial (Support)
 - Extrusion-Geschwindigkeit
 - Fließgeschwindigkeit des Filaments
 - Form und Beschaffenheit der Bauplattenhaftung
3. Optionen zur Bearbeitung des Modells wie z.B.:
 - Modell verschieben
 - Modells skalieren
 - Modell schwenken
 - Modell duplizieren

2 Bedienung eines FDM-Slicers am Beispiel von Cura

Da Cura ein weit verbreiteter Slicer ist, der mit 3D-Druckern vieler Hersteller geliefert wird, werden die Funktionen dieses Softwaretyps im Folgenden anhand Cura erklärt.

Die untenstehende Grafik zeigt die grafische Benutzeroberfläche (GUI) des Ultimaker Cura FDM-Slicers und verschiedene Werkzeugbereiche zur Einstellung des Druckergebnisses. Die Benutzeroberfläche lässt sich in mehreren Sprachen darstellen, wobei angemerkt sei, dass die Übersetzung der Fachbegriffe in die unterschiedlichen Landessprachen oftmals ungenau ist. Zudem werden in der Literatur zumeist die englischen Begriffe verwendet. Daher erfolgt die Erklärung in diesem Tutorial anhand der englischen GUI.

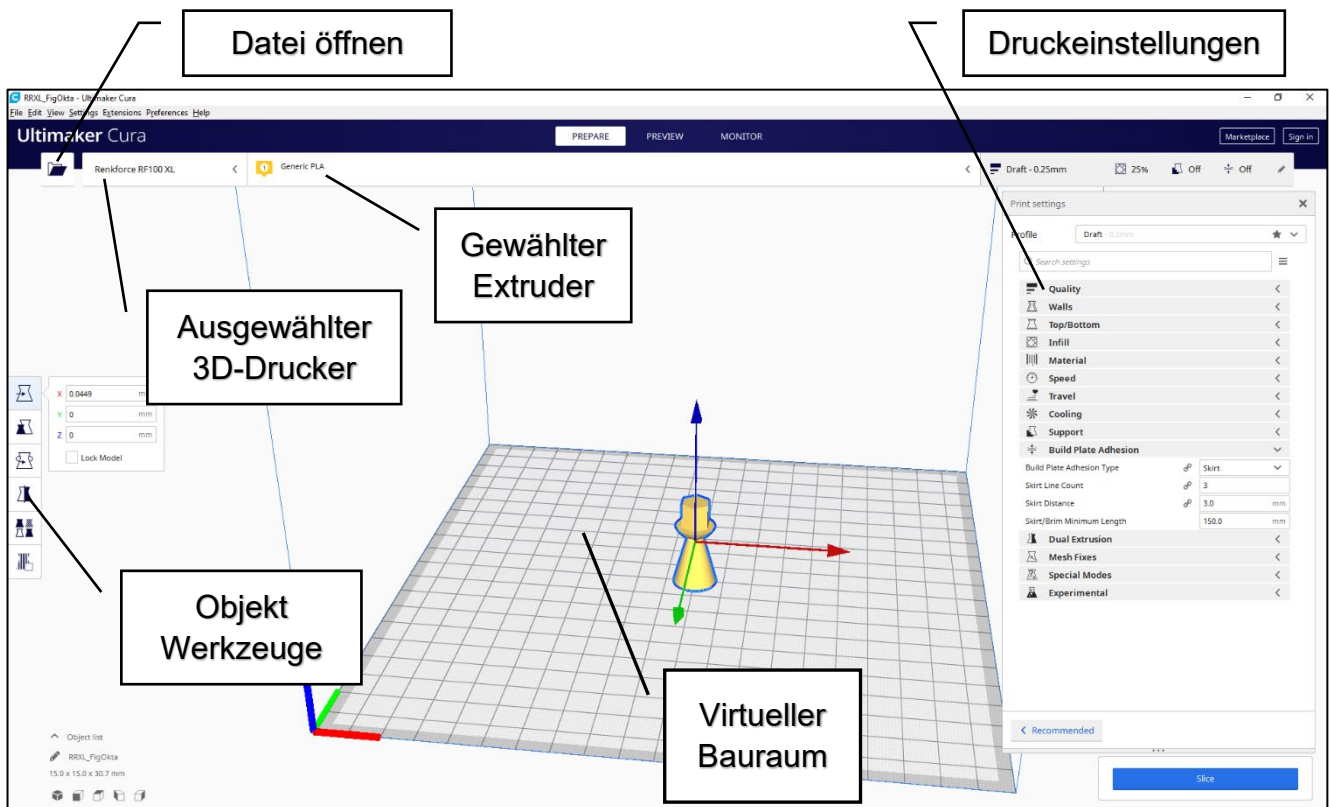


Abbildung 3 Die GUI des Slicers Cura (Version 4.9)

Die Ansicht des Bauraumes kann mit der rechten Maustaste sowie dem Scrollrad verändert werden.







Wird der Mauszeiger in den Ansichtsbereich des Bauraumes geführt und die rechte Maustaste dabei gehalten, ist es möglich, den Bauraum zu drehen. Mittels vertikaler Mausbewegungen lässt sich der Bauraum nach oben oder unten bewegen.

2.1 Objekte laden und korrekt positionieren



Cura positioniert das Modell automatisch mittig im Bauraum. Falls nach dem Ladevorgang kein Modell im Bauraum angezeigt wird, kann dies an unterschiedlichen Maßsystemen liegen: Wird ein Modell im angloamerikanischen (imperialen) Maßsystem erstellt, so kann es in Cura nicht im metrischen Maßsystem angezeigt werden; es tritt somit ein Problem auf.

Bei Klick mit der linken Maustaste auf das Modell öffnet sich im linken Bildschirmbereich die Objekt-Werkzeugleiste.

	Objekt verschieben (Move object)
	Objekt skalieren (Scale object)
	Objekt drehen (Rotate object)
	Objekt spiegeln (Mirror object)
	Modelleinstellungen (Model settings)
	Support Blocker (Support blocker)

Die letzten beiden Optionen werden hauptsächlich von erfahrenen Anwendern benötigt.

2.1.1 „Objekt verschieben“-Option (Move)

Wird die Funktion „Move“ verwendet, so öffnet sich ein Texteingabefeld. Außerdem werden drei am Objekt drei Pfeile entlang der X- (Rot), Y- (Grün) und Z- Achse (Blau) angezeigt.

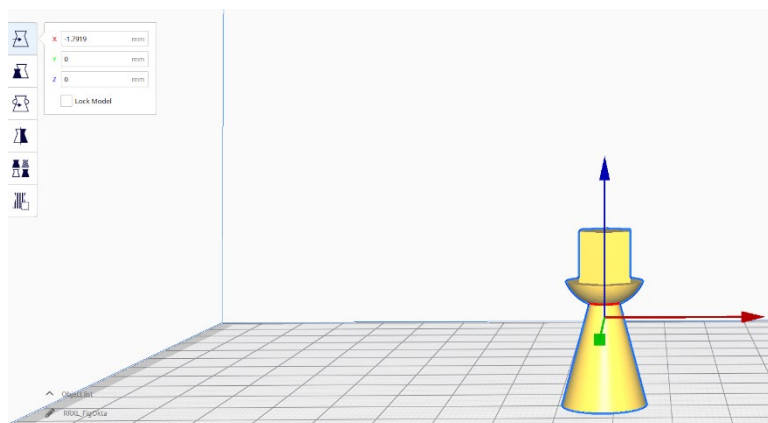


Abbildung 4 Verschiebefunktion (Move)

Diese Funktion kann auch mittels Tastenbefehl „t“ ausgeführt werden. Das Objekt kann nun entweder durch Eingabe der gewünschten Werte im Eingabefeld oder durch Bewegung mit der Maus verschoben werden. Hierzu muss der betreffende Achsenpfeil mit der linken Maustaste angeklickt und mittels Mausbewegung verschoben werden.

2.1.2 „Objekt skalieren“-Funktion (Scale)

Die Funktion „Scale“ erlaubt eine Größenanpassung des zu druckenden Modells. Diese Funktion kann auch durch den Tastenbefehl „s“ aufgerufen werden.

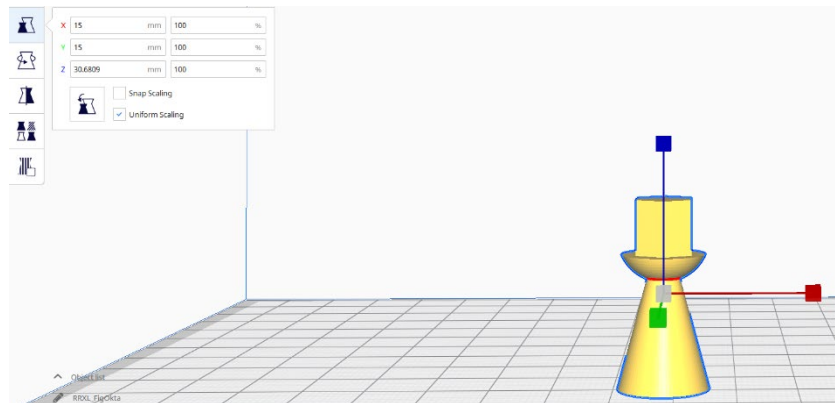


Abbildung 5 Skalierfunktion

Die Größe des Modells kann mit der Maus durch Bewegung des betreffenden Achspfeils bei gedrückter linker Maustaste eingestellt werden. Wesentlich genauer lässt sich das zu druckende Objekt jedoch mittels Eingabe der gewünschten Größenwerte im Eingabefeld skalieren. Dies kann entweder durch Eingabe des Prozentwertes oder der absoluten Größe erfolgen. Standardmäßig ist eine symmetrische Größenänderung eingestellt. Das bedeutet, dass bei Eingabe eines Prozentwertes oder Größenmaßes, automatisch die anderen beiden Werte proportional geändert werden. Ist dies nicht gewünscht, so muss das Kontrollfeld „Uniform Scaling“ („Einheitliche Skalierung“) deaktiviert werden.

2.1.3 „Objekt rotieren“-Funktion (Rotate)

Die Rotationsfunktion lässt sich mittels Tastenbefehl „r“ starten und ermöglicht es, das zu druckende Objekt entlang aller drei Achsen zu schwenken. Dies kann nur mit

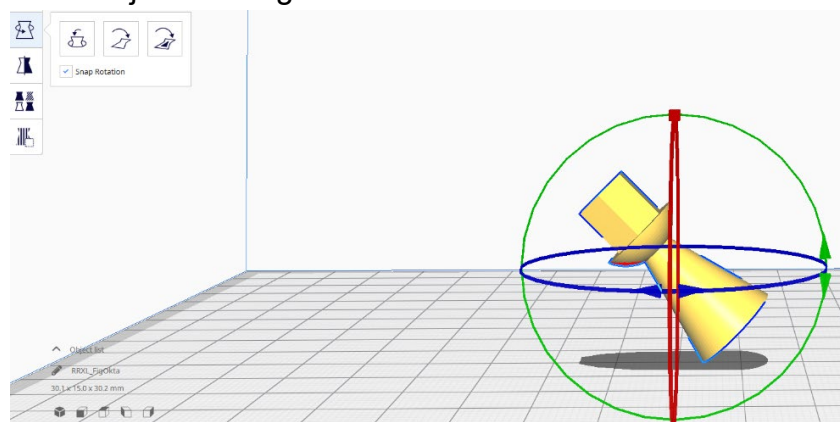


Abbildung 6 Rotationsfunktion

der Maus ausgeführt werden. Hierzu muss die linke Maustaste gedrückt werden und anschließend die Maus bei gedrückter entlang einer der drei Achsenmarkierungen

bewegt werden. Während des Rotierens wird eine Anzeige mit dem erreichten Winkelgrad angezeigt.

2.1.4 „Objekt spiegeln“-Funktion (Mirror)

Diese Funktion erlaubt das Spiegeln von Modellen entlang einer der drei Achsen und kann durch den Tastenbefehl „m“ aktiviert werden.

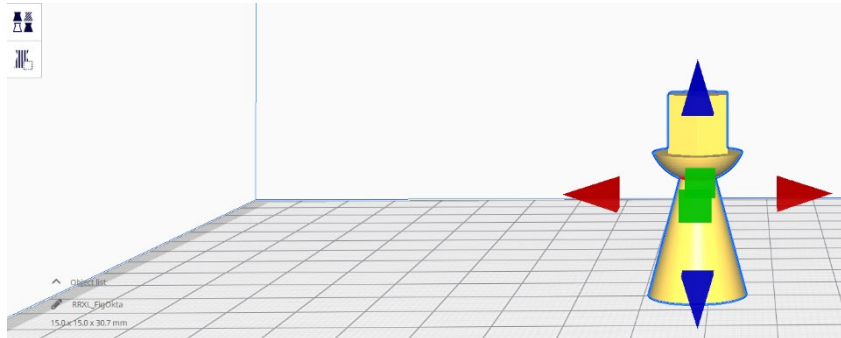


Abbildung 7 Spiegeln-Funktion

Um ein Objekt in eine Richtung zu spiegeln, muss der gewünschte Achsenpfeil mit der linken Maustaste angeklickt werden.

Mittels Spiegelfunktion lassen sich folglich gespiegelte Gegenstücke von Modellen erzeugen. So kann beispielsweise sehr einfach ein rechter Außenspiegel für die linke Seite Autoseite hergestellt werden.

2.1.5 Positionierung überdimensionierter Bauteile

Sobald Bauteile geladen werden, die größer als der Bauraum sind, werden diese abseits positioniert. Zudem besitzen diese eine grobe Schraffur.

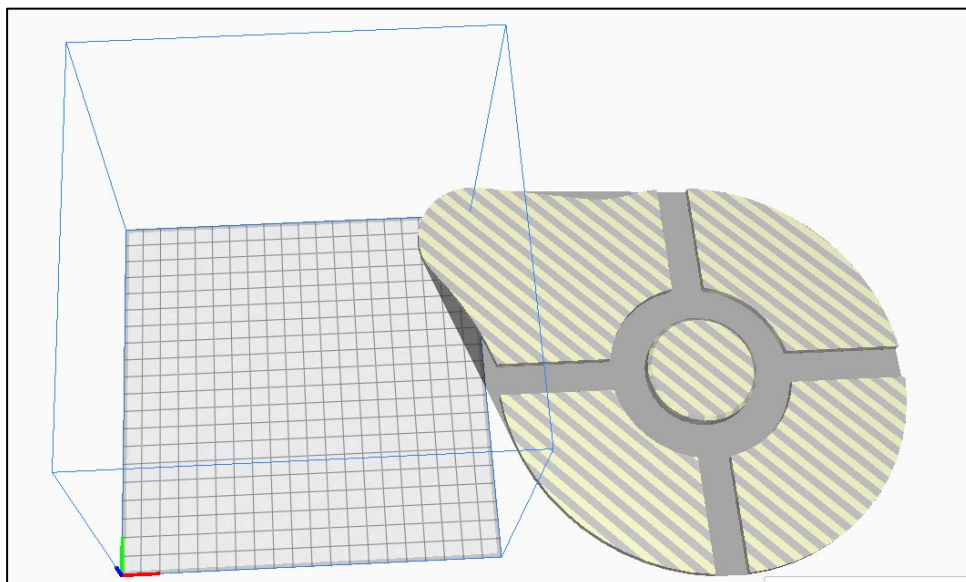


Abbildung 8 Überdimensioniertes Bauteil

Um solche großen Bauteile bearbeiten zu können, müssen diese mit der Skalierfunktion zunächst verkleinert und anschließend mit der Verschiebe-Funktion in den Bauraum verschoben werden. Sobald das Modell in eine passende Größe umgewandelt und in eine korrekte Position im Bauraum verschoben wurde, ändert sich die Schraffierung des Modells, dass nun durchgehend gelb eingefärbt wird.

2.1.6 Das Kontextmenü

Das Kontextmenü ist verfügbar, sobald das zu druckende Modell mit der rechten Maustaste angeklickt wurde. Das Kontextmenü erlaubt folgende Einstellungen und Funktionen (siehe Abbildung 9 von oben nach unten):

1. Zentrierung des Bauteils auf der Bauplattform. Diese Funktion eignet sich auch, um verkleinerte Modelle optimal platzieren zu können.
2. Löschen des ausgewählten Modells
3. Vervielfältigen des ausgewählten Modells
4. Auswahl aller Modelle
5. Anordnen der Modelle auf der Bauplattform. Hierdurch können möglichst viele Bauteile auf der Bauplattform angeordnet werden
6. Löschen aller Modelle von der Bauplatte
7. Erneutes Laden aller Modelle
8. Positionieren aller Modelle an ihrer ursprünglichen Position
9. Zurücksetzen aller Modelländerungen auf den Anfangszustand
10. Gruppieren von Modellen (Hierzu müssen die betreffenden Modelle markiert werden. Zum Beispiel mit „Select all models“ („Alle Modelle auswählen))
11. Zusammenführen von Modellen. Mit dieser Funktion ordnet Cura die gewählten Modelle übereinander an
12. Gruppierung aufheben

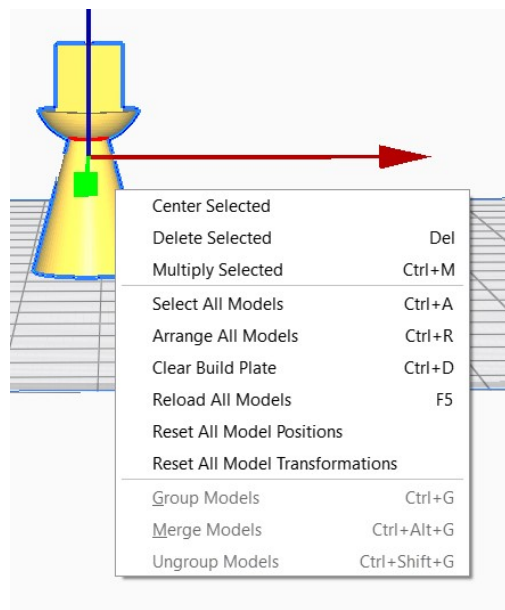


Abbildung 9 Das Kontextmenü

2.2 Slicen eines Modells

Zum Slicen des Modells werden die folgenden Starteinstellungen benötigt:

1. Schichthöhe
2. Füllung des Innenraumes
3. Drucktemperatur der Extruderdüse und ggf. der Bauplatte
4. Notwendige Stützstruktur
5. Bauplattenhaftung

Um diese Einstellungen in Cura vornehmen zu können, sollten die Druckeinstellungen am rechten oberen Fenster verwendet werden.

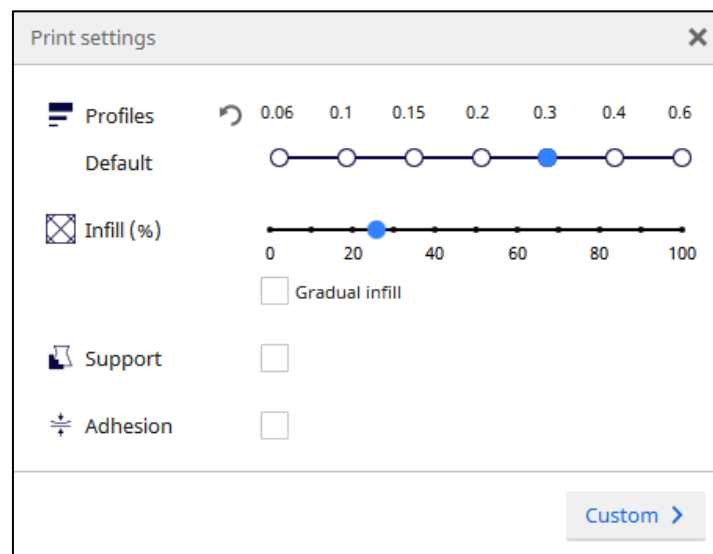


Abbildung 10 Standardeinstellungen

Ist dieses Fenster nicht sichtbar, so ist eines der Symbole in der rechten oberen Bildschirmecke zu aktivieren.



Abbildung 11 Einstellungssymbole

Da die Einstellungsoptionen im Standardmodus (Abbildung 10) sehr eingeschränkt sind, ist es für die vollständige Darstellung der Einstellungsoptionen notwendig, die Schaltfläche „Custom“ im rechten unteren Eck anzuklicken. Daraufhin werden alle Einstellungsbereiche angezeigt.

Als erstes gilt es, die Funktionen „Schichthöhe“ und „Schichtbreite“ („Layer height“ und „Layer width“) aus dem Menü auszuwählen.

1. Schichthöhe. Hier ist eine Höhe zu wählen, die geringer als die Düsendicke (meistens 0,4mm) ist. Je präziser und feiner die Modellqualität sein soll, desto geringer sollte die Schichthöhe sein. Entsprechend länger dauert jedoch der Druck. Es ist darauf zu achten, dass Werte eingestellt werden, die der verwendete 3D-Drucker auch tatsächlich leisten kann. In der Regel ist die

geringste Höhe 0,05mm. Bei Brailledruck sollte die Schichthöhe mindestens 0,25mm betragen, da ansonsten die Punkte zu spitz werden. Die Linienbreite beeinflusst die Glätte der Oberfläche. Je glatter diese also sein soll, desto geringer sollte die Breite eingestellt werden. Auch hier geben die Geräteparameter des jeweiligen 3D-Druckers die möglichen Grenzen vor. Grundsätzlich kann aber die Schichtbreite nicht geringer als die Schichthöhe sein.

2. Die Füllung des Innenraums wird standardmäßig auf 15% eingestellt. Bei großen Flächen und einwirkenden Druckkräften kann dies allerdings zu niedrig sein. Eine Einstellung zwischen 25 und 40% ist in den meisten Fällen ausreichend, um eine stabile Füllung für taktile Modelle zu erhalten.
3. Die korrekten Drucktemperaturen sind den Datenblättern der verwendeten Filamente zu entnehmen.
4. Stützstrukturen sind abhängig von der Beschaffenheit und Platzierung des Bauteils auf der Bauplatte. Hier gilt es die 45°-Regel anzuwenden: Sobald ein überstehender Teil einem Winkel von mehr als 45° zur Bauplatte entspricht, sind Stützkonstruktionen erforderlich. Dies lässt sich gut am Beispiel der Buchstaben Y (45°) und T (90°) darstellen. Stützstrukturen können entweder aus normalem Filament oder aus wasserlöslichen Materialien gedruckt werden. Hierzu sind jedoch 3D-Drucker mit zwei Extrudern erforderlich.

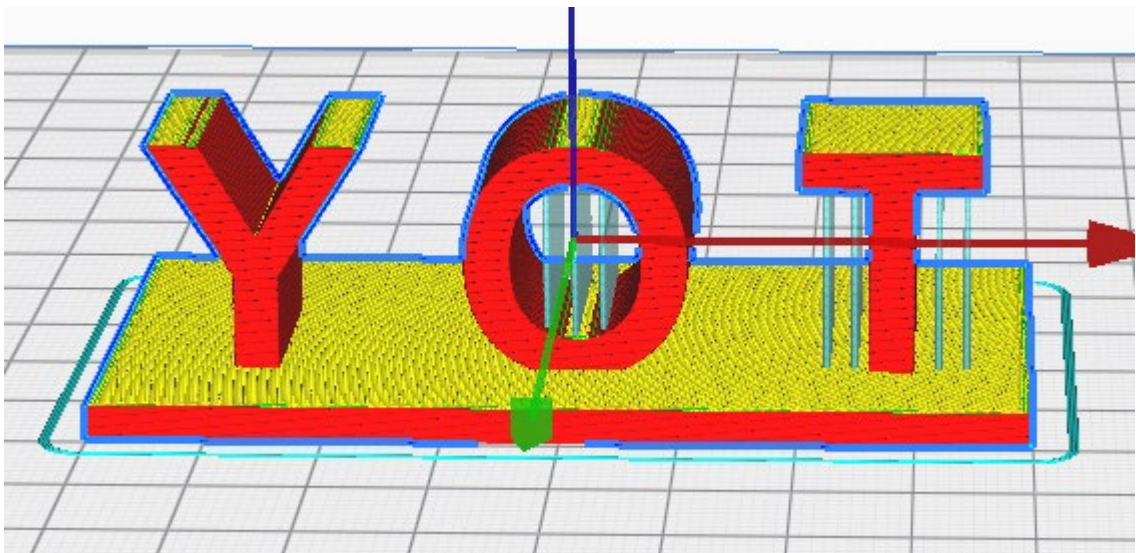


Abbildung 12 Stützstrukturen bei 45° und 90° Überhang

5. Für einen erfolgreichen FDM-Druck ist es dringend erforderlich, dass die erste Schicht bis zur Beendigung des Druckauftrages an der Bauplatte haftet. Löst sich hier das Bauteil stellenweise ab, kommt es unweigerlich zum Verzug des Materials an der Unterseite des Bauteils. Im schlimmsten Fall lockert sich das Bauteil und wird durch die Extruderbewegung von der Bauplatte gerissen.

Zur Bauplattenhaftung stehen drei Optionen zur Verfügung:

- a) Skirt (engl. für „Sockel“)
- b) Brim (engl. für „Krempe“, „Umrandung“)
- c) Raft (engl. für „Floß“)

Bei der „Skirt“-Option „handelt es sich genau genommen nicht um eine Funktion, die die Bauplattenhaftung verbessert. Mit dieser Funktion wird vor dem Druck des Bauteils eine Umrandung mit Filament aufgetragen. Dies dient dazu, dass beim Druck des Bauteils ausreichend Filament in der Extruderdüse vorhanden ist.

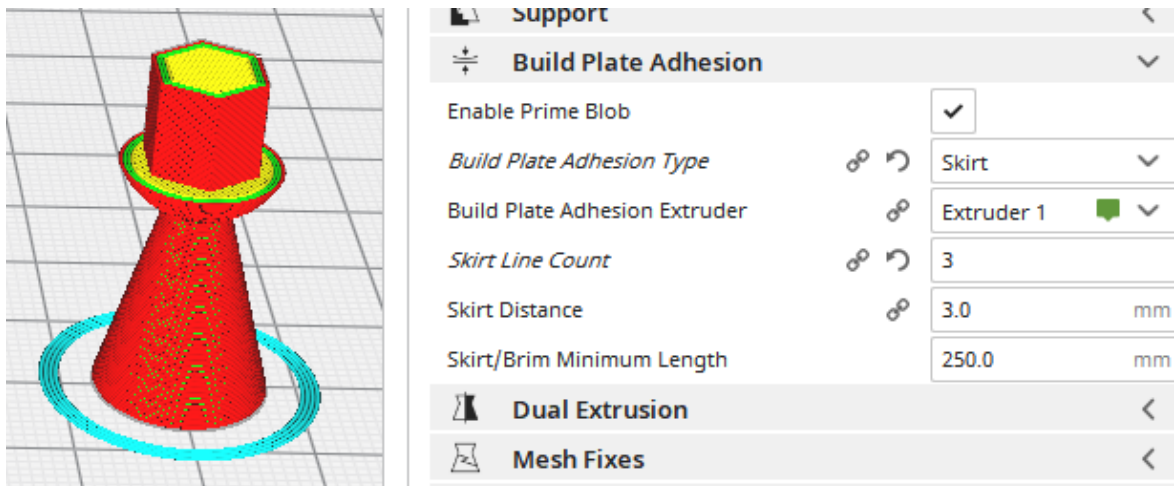


Abbildung 13 Skirt

Bei der Funktion „Brim“ wird ein dünner einlagiger Rand um das Bauteil gezogen. Die Haftungsoberfläche wird dadurch vergrößert und die Haftung auf der Bauplate verbessert. Nach dem Druck kann diese Umrandung einfach vom Bauteil abgezogen werden.

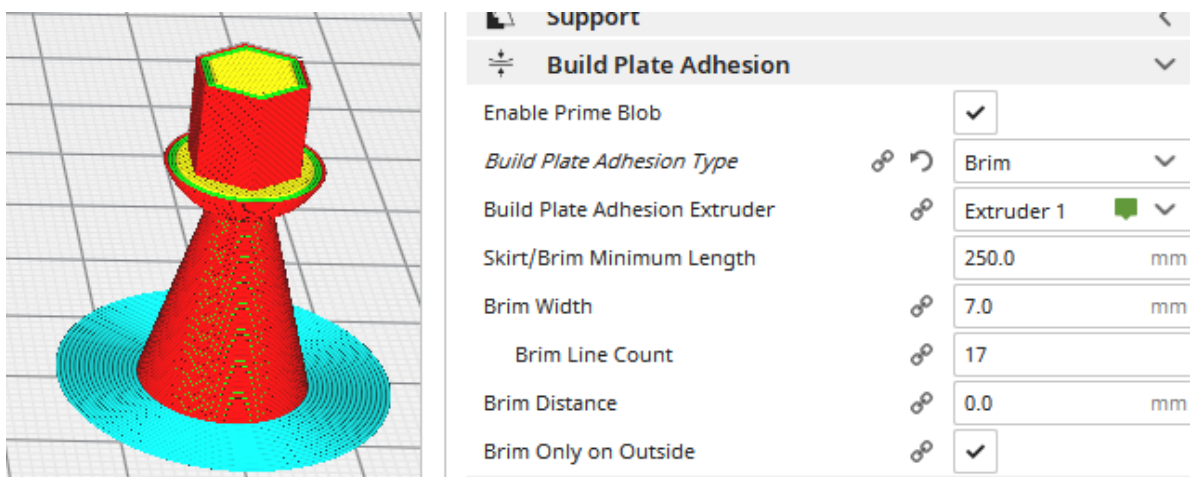


Abbildung 14 Brim

Im Zuge der „Raft“-Funktion wird zuerst ein gitterartiger Untergrund unter dem Bauteil aufgebracht. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn ein Bauteil eine geringe oder kleine Auflagefläche besitzt oder die Höhe des Bauteils überproportional zur Auflagefläche ist. Dieses „Floß“ vergrößert diese Auflagefläche und verklebt das Bauteil mit dem Raft-Gitter. Der Raft lässt sich ebenfalls einfach vom fertigen Bauteil entfernen.

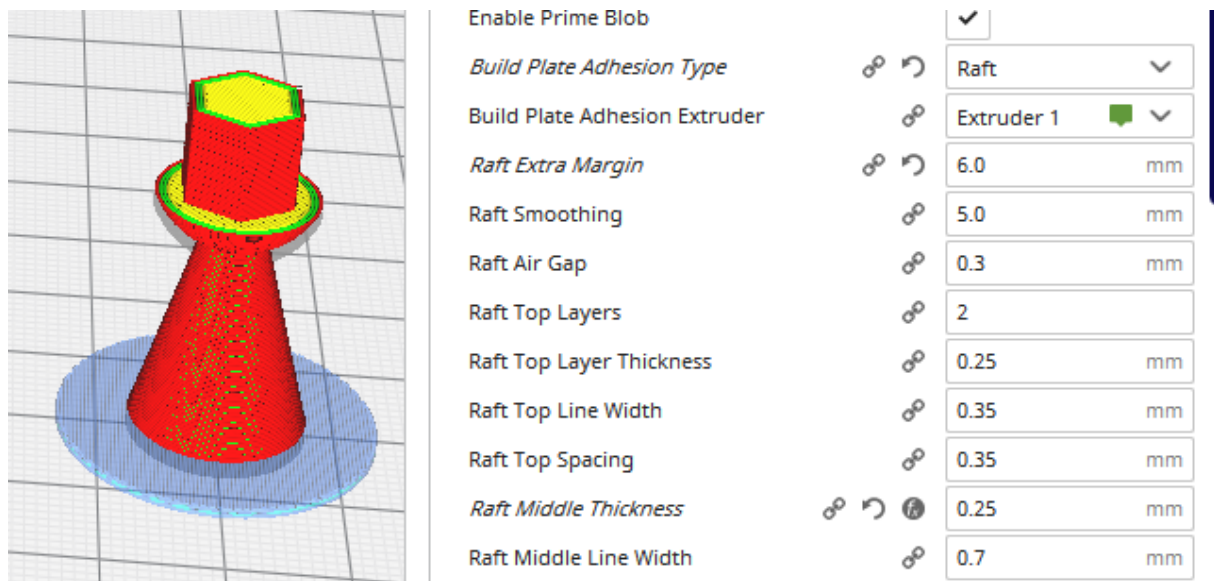


Abbildung 15 Raft

2.3 Überprüfung des Slice-Ergebnis

Einer der häufigsten Fehler beim FDM-Druck wird begangen, noch bevor der 3D-Drucker den Druckvorgang überhaupt startet: Es wird oftmals versäumt das Ergebnis des Slice-Vorgangs vor Druckstart zu überprüfen.

Zu den häufigsten Fehlern zählen hier:

1. Auswahl des falschen Druckers oder falscher Parameter wie Temperatur oder Geschwindigkeit
2. Das Bauteil ist nicht (gleichmäßig) auf der Bauplatte positioniert
3. Erforderliche Stützstrukturen wurden vergessen oder es wurden nicht ausreichend Stützstrukturen hinzugefügt
4. Die Bauteile verfügen nicht über das korrekte Füllvolumen
5. Es wird keine oder eine falsche Bauplattenhaftung verwendet
6. Oberflächen sind nicht geschlossen

Nach Aktivierung der Schaltfläche „Slicen“ wird der Berechnungsvorgang gestartet. Ist der Slice-Vorgang beendet, wird das folgende Pop-up-Fenster angezeigt:

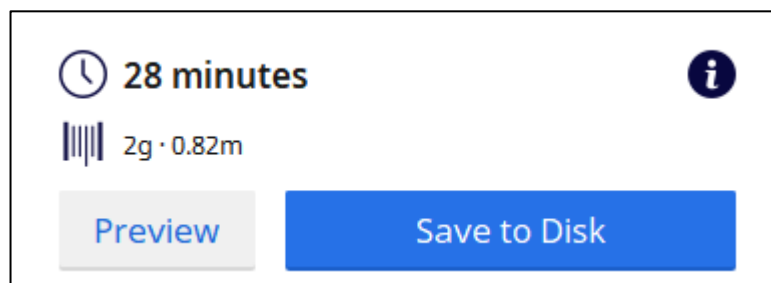


Abbildung 16 Fenster nach Slicevorgang

Neben der geschätzten Druckzeit und des Materialverbrauches werden auch die Schaltflächen zur Vorschau („Preview“) und zum Speichern („Save to Disk“) der G-code-Datei angezeigt. Bei Klick auf die Schaltfläche „Preview“ wird eine schichtweise

Vorschau des Bauteils anhand des für den FDM-Drucker generierten G-codes dargestellt.

Mithilfe des Schiebereglers im rechten Seitenbereich der Vorschau kann das geslicte Bauteil Schicht für Schicht betrachtet werden. Sollte hier in der ersten Schicht das Bauteil nicht vollständig auf der Bauplatte angezeigt werden, so bedeutet dies, dass das Bauteil falsch positioniert wurde oder es auf der Unterseite uneben ist. In diesem Fall sollte in Erwägung gezogen werden, einen Raft oder eine Stützstruktur einzufügen.

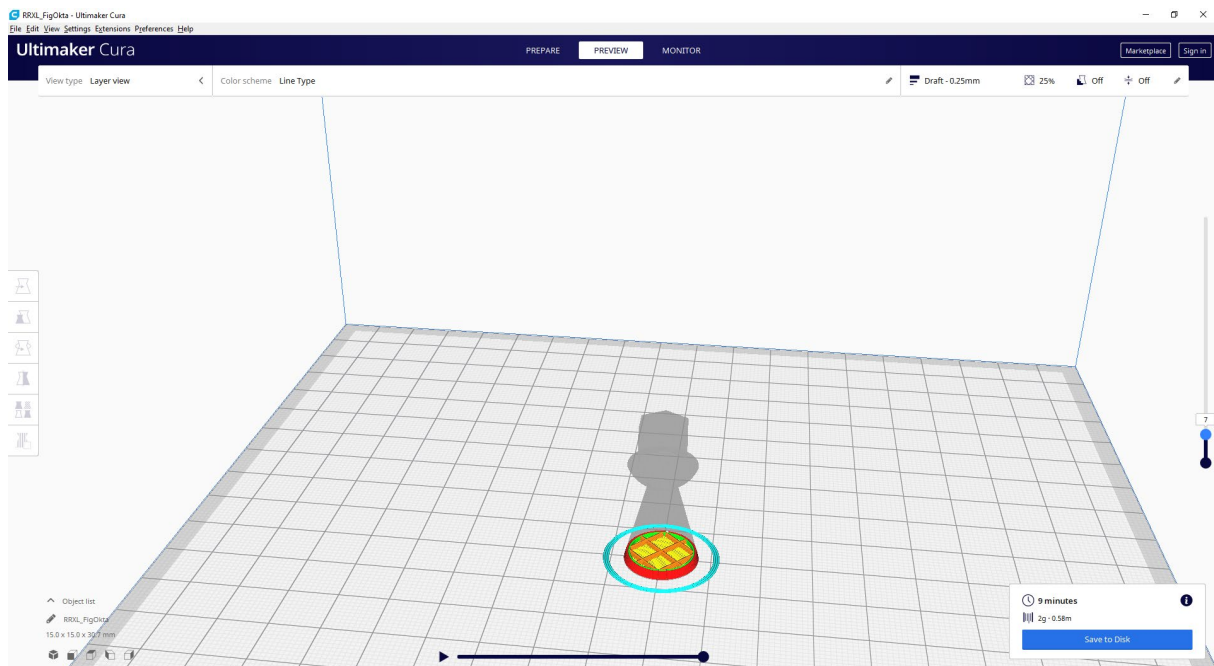


Abbildung 17 Druckvorschau

Wurden Stützstrukturen und Bauplattenhaftung eingestellt, kann in der vorschau beurteilt werden, ob diese korrekt und ausreichend generiert wurden. Ebenso kann hier frühzeitig erkannt werden, ob die Wandstärken und Oberflächen ausreichend dimensioniert wurden.

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Ultimaker Cura.....	6
Abbildung 2 Repetier Host.....	6
Abbildung 3 Die GUI des Slicers Cura (Version 4.9)	8
Abbildung 4 Verschiebefunktion (Move)	9
Abbildung 5 Skalierfunktion	10
Abbildung 6 Rotationsfunktion	10
Abbildung 7 Spiegeln-Funktion.....	11
Abbildung 8 Überdimensioniertes Bauteil.....	11
Abbildung 9 Das Kontextmenü	13
Abbildung 10 Standardeinstellungen	14
Abbildung 11 Einstellungssymbole	14
Abbildung 12 Stützstrukturen bei 45° und 90° Überhang	15
Abbildung 13 Skirt	16
Abbildung 14 Brim	16
Abbildung 15 Raft	17
Abbildung 16 Fenster nach Slicevorgang	17
Abbildung 17 Druckvorschau.....	18