



SCHRIFTENREIHE 3D@KMU

Herausgeber:

Prof. Dr. Heiko Wenzel-Schinzer

ARBEITSBERICHT 13

VON DER IDEE ZUM OBJEKT

Eine Anleitung für den 3D-Druck

Alexandra Fiedler

Der vorliegende Bericht erläutert die unterschiedlichen Anlagen und Programme, die für den 3D-Druck benötigt werden. Die Anwendung wird an einem durchgängigen Fallbeispiel, von der Idee zum gedruckten Objekt, verdeutlicht.

Merseburg, Mai 2017



Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Der 3D-Druck-Prozess.....	4
3. Software	5
3.1. <i>Free</i> 3D-CAD-Software	8
3.2. Check & Repair.....	11
3.3. Slicer	13
4. Drucker	15
4.1. Verfahren	16
4.2. Bausätze (Fabber)	20
4.3. Personal (Desktop) Printer	22
5. Fallbeispiel.....	24
6. Materialien	31
Literaturverzeichnis	34

1. EINLEITUNG

Mit Additiver Fertigung, umgangssprachlich auch als 3D-Druck bezeichnet, ist es heute nicht nur möglich kleine selbstdesignte Kunststoffmodelle herzustellen (Kreimeyer, 2015), sondern auch große Objekte wie zum Beispiel Häuser (Apis Cor, 2017) oder Objekte im Mikro-Bereich zum Beispiel Objektive (Giessen, 2016). Auch die Medizin ist ein Anwendungsbereich der Additiven Fertigung. So sollen unter anderem in Zukunft Medikamente (Zieverink, 2015) und Organe (Wyss Institute, 2016) gedruckt werden. Das mag zunächst fabelhaft anmuten, eine solch revolutionäre Technologie bringt aber auch Veränderungen der Geschäftsmodelle und -prozesse mit sich. Mit den Worten von Gershenfeld¹ (2005): “The world of tomorrow can be glimpsed in tools available today“.

Die einfache Idee hinter der Additiven Fertigung ist, dass die Technologie dem Anwender die Möglichkeit gibt, Objekte aus dreidimensionalen (3D) Daten zu drucken. In der Theorie ermöglicht dies jedem, der 3D-Daten besitzt oder in der Lage ist, diese Daten zu erstellen, die gewünschten Objekte herzustellen. Dieses Konzept ist leicht verständlich und hat die Phantasie vieler Ingenieure, Wissenschaftler und Journalisten beflügelt, denn es scheint, dass 3D-Druck die ultimative zukünftige Fertigungstechnik ist, die es Einzelpersonen mit wenig oder keiner manuellen Geschicklichkeit ermöglicht, Gegenstände zu schaffen, die geringe Ressourcen beanspruchen bei minimalen technologischen Einschränkungen.

Doch aller Anfang ist schwer. Um Interessierten den Einstieg in die Thematik zu erleichtern, wird auf den nächsten Seiten der Prozess von der Idee zu gedruckten Objekt detailliert beschrieben.

¹ US-amerikanischer Physiker und Informatiker und Leiter des Center for Bits and Atoms am MIT

2. DER 3D-DRUCK-PROZESS

Stark vereinfacht betrachtet sind es 3 Schritte von der Idee zum gedruckten Objekt. Zunächst wird ein digitales 3D-Modell benötigt, welches im nächsten Schritt an einen 3D-Drucker übermittelt wird, dazu müssen die Daten so aufbereitet werden, dass der Drucker diese „versteht“ und schlussendlich wird gedruckt.

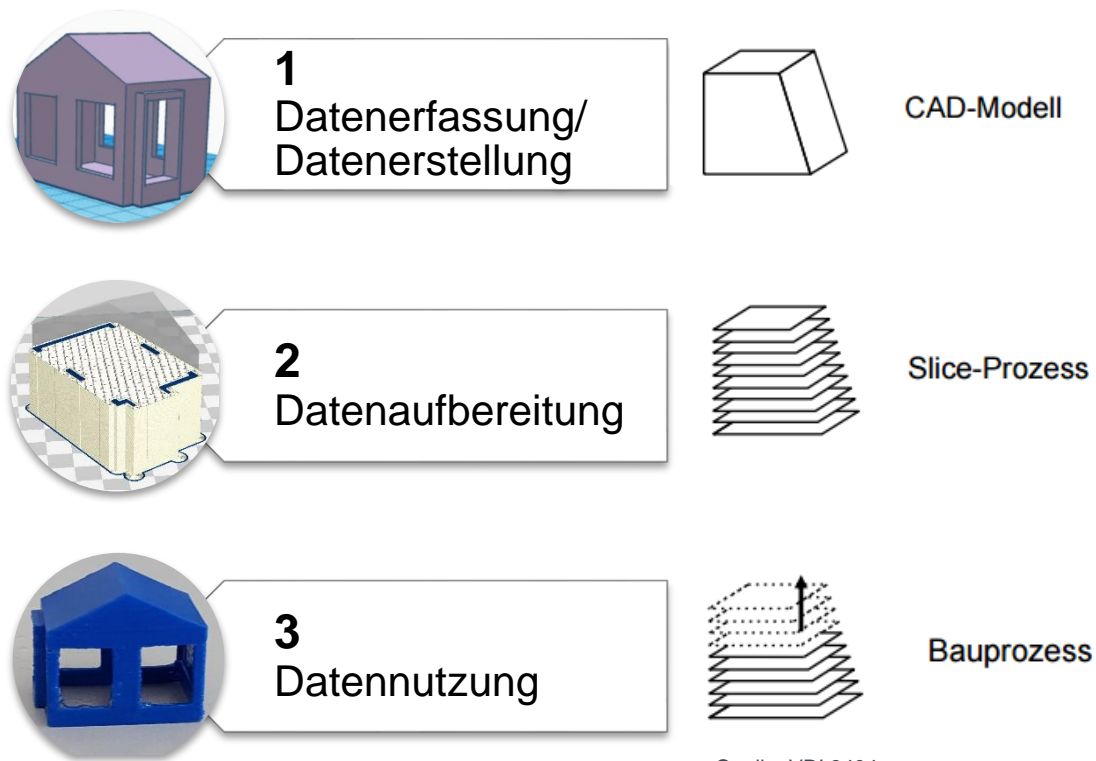


Abbildung 1: Der 3D-Druckprozess

Es braucht also einen 3D-Drucker und entsprechende Software. Die Auswahl an beiden Komponenten ist inzwischen groß und schwer durchschaubar. Jedoch ist der Einstieg nicht zwangsläufig mit hohen Kosten verbunden, denn viele Programme sind Open Source und kostenfrei in Netz erhältlich. Die günstigsten Drucker gibt es bereits für weniger als 300 Euro. Welcher Drucker und welche Software die richtigen sind, hängt stark vom jeweiligen Anwender und dem Anwendungsgebiet, also den spezifischen Anforderungen ab. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile verschiedener Programme und 3D-Drucker beschrieben, um im Anschluss das Vorgehen an einem Fallbeispiel zu verdeutlichen.

3. SOFTWARE

Es gibt drei Möglichkeiten an ein digitales Modell zu gelangen:

1. **Scannen eines vorhandenen Objektes.** Hierfür sind verschiedene Systeme der taktilen oder optischen Messtechnik einsetzbar, aber auch Computertomographen eignen sich zum sogenannten Reverse Engineering².
2. **Download einer Datei von einer Onlineplattform.** Die Zahl der Onlineplattformen für druckbare 3D-Modelle ist (noch) überschaubar.³ Sie lassen sich nach der Art der angebotenen Modelle unterscheiden, so werden Modelle für die Hobbyanwendungen aber auch für Profis angeboten. Außerdem sind kostenpflichtige und kostenfreie Angebote differenzierbar. Nachfolgende Tabelle listet bekannte Online-Datenbanken für 3D-Modelle auf.

Anbieter	Modellkosten	Druckbar	Eignung	Kommentar
3D Warehouse	kostenfrei	teilweise	Hobby	enthält 3D-Modelle, die mit „SketchUp Make“ (früher „Google SketchUp“) erstellt wurden, die DB ist im Programm integriert
GrabCad	kostenfrei	teilweise	Hobby, Wissenschaft & Bildung, Kunst, Industrie & Handwerk	gehört zum 3D-Drucker-Hersteller Stratasys, bietet Teams die Möglichkeit Projekte zu organisieren und CAD-Dateien zu teilen
Hum3D	kostenpflichtig	teilweise	Hobby & Profis	professionell erstellte Modelle, Spezialist für Militärtechnik, Fahrzeuge
NASA 3D	kostenfrei	teilweise	Raumfahrt-Enthusiasten	Raumfahrt-relevante 3D-Modelle, die teilweise bereits 3D-Druck-fähig sind
NIH 3D Print Exchange	kostenfrei	ja	Wissenschaft (Medizin, Biologie)	betrieben vom National Institutes of Health, anatomische 3D-Modelle, Laborausstattung, Moleküle, Bakterien u.v.m.

² ausführlich beschrieben in (Fiedler, Vom Original zur Kopie: Reverse Engineering für den 3D-Druck, 2016)

³ Das Angebot wächst aber kontinuierlich, daher ist die Aufzählung hier lediglich als Ausschnitt zu sehen.

Anbieter	Modellkosten	Druckbar	Eignung	Kommentar
Pinshape	kostenfrei & kostenpflichtig	ja	Hobby	betrieben vom 3D-Drucker-Hersteller Formlabs, viele für Stereolithografie optimierte Modelle
Thingiverse	kostenfrei	ja	Hobby, Wissenschaft & Bildung, Kunst, Mode	betrieben vom 3D-Drucker-Hersteller MakerBot, große Anzahl an speziell für den 3D-Druck modellierten Objekten (> 750.000)
TraceParts	kostenfrei	teilweise	Maschinenbau	bündelt die Online-Kataloge von Bauteilzulieferern und ist die richtige Adresse, wenn man 3D-Modell von technischen Komponenten benötigt.
TurboSquid	kostenfrei & kostenpflichtig	teilweise	Hobby, Wissenschaft & Bildung, Kunst, Industrie & Handwerk	umfangreiche Datenbank (> 500.000) mit qualitativ hochwertigen Modellen
Yeggi	kostenfrei	ja	Hobby	eine Suchmaschine, die Plattformen und Communities nach druckbaren 3D-Modellen durchsucht
YouMagine	kostenfrei	ja	Hobby	betrieben vom 3D-Drucker-Hersteller Ultimaker, komplexe Modelle speziell für Druck mit wasserlöslichen Supportmaterial

Tabelle 1: Online-Datenbanken für 3D-Modelle

Wer nicht verschiedene Plattformen nach dem passenden Modell durchsuchen will, kann auf die im Mai 2017 vorgestellte Suchmaschine für 3D-Druckvorlagen [IFind3D](#) zurückgreifen. Diese greift auf 70% aller Online-Datenbanken zu, was mehr als 700.000 3D-Druckvorlagen entspricht und somit 90% der im Netz verfügbaren Vorlagen abdeckt.

3. **Entwerfen eines eigenen Modells.** Hierfür stehen zahllose kostenpflichtige, aber auch kostenfreie 3D-CAD-Programme zur Verfügung. Unten stehende Tabelle listet einige kostenpflichtige und in Unternehmen verbreitete Programme auf:

Name	Eignung	Preis	Formate
AutoCAD	Profis	1400 € pro Jahr	dwg, dxf, pdf
3ds Max	Profis	2.141,70 € pro Jahr, Ausbildungslizenzen erhältlich	stl, 3ds, ai, abc, ase, asm, catproduct, catpart, dem, dwg, dxf, dwf, flt, iges, ipt, jt, nx, obj, prj, prt, rvt, sat, skp, sldprt, sldasm, stp, vrml, w3d xml
Rhino3D	Profis	495 € Ausbildungslizenz, 1695 € Einfache Lizenz	3dm, 3ds, cd, dae, dgn, dwg, emf, fbx, gf, gdf, gts, igs, kmz, lwo, rws, obj, off, ply, pm, sat, scn, skp, slc, sldprt, stp, stl, x3dv, xaml, vda, vrml, x_t, x, xgl, zpr
CATIA	Industrie	7.180 €; Ausbildungslizenzen erhältlich	3dxml, catpart, igs, pdf, stp, stl, vrml
Fusion 360	Industrie	499.80 € pro Jahr, Ausbildungslizenzen erhältlich	catpart, dwg, dxf, f3d, igs, obj, pdf, sat, sldprt, stp
Solidworks	Industrie	9.950 €, Ausbildungslizenzen erhältlich	3dxml, 3dm, 3ds, 3mf, amf, dwg, dxf, idf, ifc, obj, pdf, sldprt, stp, stl, vrml

Tabelle 2: Auswahl kostenpflichtige 3D-CAD-Programme

Um zu einem druckbaren Modell zu gelangen, kann unterschiedliche Software zum Einsatz kommen (vgl. Abb. 2). Neben dem 3D-CAD-Programm zum modellieren des Objektes, kann es sinnvoll sein, die Daten auf Druckfähigkeit hin zu überprüfen (Check & Repair). Ein weiteres Programm (CAM⁴) erzeugt nun für das druckreife Modell, die für den jeweiligen 3D-Drucker notwendigen Informationen⁵ und die „Übersetzung“ in Maschinensprache – den sogenannten G-Code. Einige Programme vereinen mehrere dieser Funktionen in sich, Slic3r und Cura beispielsweise bieten in den neusten

⁴ Computer-Aided Manufacturing

⁵ Um welche Informationen es sich handelt vgl. (Fiedler, Vom Original zur Kopie: Reverse Engineering für den 3D-Druck, 2016, S. 10 f.)

Versionen die Möglichkeit zur Reparatur der Daten. Nachfolgende Kapitel zeigen die verschiedenen *kostenfreien* Programme auf und erläutern diese.



Abbildung 2: Datenfluss 3D-Druck

3.1. Free 3D-CAD-Software

Immer mehr Anwendungen lassen sich im Browser ausführen. Die Entwicklung macht auch bei 3D-Modellierungssoftware nicht halt. So stehen nicht nur Anwendungen für alle gängigen Plattformen (Windows, OSX, Linux) zur Verfügung, sondern ebenso browserbasierte Tools (vgl. Tab. 3).

Name	Eignung	Plattform	Kommentar
TinkerCAD	Einsteiger & Neulinge	Browser	Zur Erstellung neuer 3D-Objekte kann aus einem breiten Fundus von Vorlagen gewählt werden, die anschließend konfiguriert werden können. Die Bedienung erfolgt weitestgehend über die Auswahl per Maus. Auch eigene Projekte sind zu importieren und bearbeiten oder auf Thingiverse online zu stellen. Fazit: komfortabel und unkompliziert
3D Slash	Einsteiger & Neulinge	Browser	Arbeiten wie ein Bildhauer. Das Original STL Modell wird in kleine Würfel (Voxel) umgewandelt. Dann ist es leicht mit traditionellen Werkzeugen (Hammer, Meißel, Kelle, Pinsel, ...) zu bearbeiten. Die Größe der Würfel ist kontrollierbar, so dass die Arbeit effizient und genau ist. Fazit: Das perfekte Werkzeug für Nicht-Designer und Kinder.
CoffeeSCad	Fortgeschrittene	Browser	CoffeeScript ist eine Programmiersprache, die auf JavaScript basiert. Gegenwärtig lässt sich Coffeescript weitgehend nur mit Code steuern. Für jedes 3D-Objekt müssen entsprechende Code-Objekte erstellt und mit

Name	Eignung	Plattform	Kommentar
			Variablen definiert werden, die die Größe und Farbe des Objekts bestimmen (parametrisches Konstruieren). Fazit: für unverbesserliche Coder
Leopoly	Einsteiger & Neulinge	Browser	Sehr einfaches Tool mit überschaubarer Anzahl an Funktionen. Man beginnt mit einer Grundform, die dann weiter bearbeitet wird (ziehen, drücken, formen, färben, ...) Fazit: Zum Einstieg oder für Kinder, intuitive Bedienung
SculptGL	Einsteiger & Neulinge	Browser	Entweder startet man mit einer Kugel und modelliert mit Hilfe der verfügbaren Werkzeuge das gewünschte Objekt heraus. Oder man lädt ein vorhandenes 3D-Modell im Dateiformat OBJ oder STL und benutzt die Werkzeuge, um es weiter zu modellieren, zu glätten, zu verziehen oder mit Kerben und Ausstülpungen zu versehen. Fazit: für Einsteiger und Objekte mit gegrenzter Komplexität
Meshmixer	Fortgeschrittene	Windows/OSX	Voll funktionstüchtiges 3D-CAD-Programm. Eignet sich insbesondere zur Vorbereitung von 3D-Modellen für den 3D-Druck. Wird beispielsweise eingesetzt, um auf Grundlage von 3D-Scans Prothesen mit beweglichen Teilen zu entwerfen. Verfügt auch über Profi-Funktionen, wie das Entfernen überflüssiger Masse um Druckkosten und Gewicht zu sparen, ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen und eine Reparaturfunktionen. Fazit: Eines der besten Programme für Fortgeschrittene mit dem man 3D-Drucke auf Basis der Autodesk-Produkte realisieren kann.
OpenSCAD	Fortgeschrittene	Windows/OSX	Hierbei handelt es sich nicht um ein interaktives 3D-CAD-Programm, sondern um einen 3D-Kompilier der Skripte auswertet, die 3D-Objekte beschreiben. Verschiedene

Name	Eignung	Plattform	Kommentar
			<p>mathematische Operatoren, Modifier, Transformationen, Variablen, Schleifen und andere Funktionen erlauben es, beinahe beliebig komplexe Modelle zu realisieren. Eignet sich insbesondere für die Erstellung von Maschinen-Bauteilen und auch zur Vorbereitung von Modellen für den 3D-Druck. Über entsprechende Skripte ist es zudem möglich, 2D-CAD-Modelle im DXF-Format in ein 3D-Design zu überführen.</p> <p>Fazit: Mächtiges Werkzeug für Coder und solche, die es werden wollen. Umfangreiche Dokumentationen erleichtern den Einstieg.</p>
Sculptris	Fortgeschrittene, ambitionierte Neulinge	Windows/OSX	<p>Durch einfaches Auswählen von Gestaltungswerkzeugen und deren intuitiven Einsatz lassen sich beeindruckende 3D-Objekte gestalten. Das Vorgehen erinnert an Töpfeln und Bildhauen. Man fängt entweder mit einer der Grundformen an oder man lädt ein Template (die grobe Form des menschlichen Körpers etc.) aus einem anderem 3D-CAD-Programm als Basis. Auch Neulinge können schnell die grundlegenden Techniken erlernen und Modelle für den 3D-Druck erstellen.</p> <p>Fazit: Zum Ausprobieren der 3D-Bildhauerei, ist Sculptris eine der besten Optionen.</p>
Blender	Profis	Windows/OSX/ Linux	<p>Blender ist ein professionelles, kostenloses 3D-CAD-Programm, das mit einer Open-Source-Lizenz vertreiben wird und für Animationsfilme, Spezialeffekte, interaktive Apps, Videospiele und auch 3D-Druck eingesetzt wird. Zu den vielen Funktionen in Blender gehören 3D-Modellierung, UV-Unwrapping, Texturierung, Bearbeitung von Rastergrafiken, Flüssigkeits- und Rauchsimulation, 3D-Bildhauerei, Animation, Camera Tracking, Rendering, Videoschnitt, Videobearbeitung und eine integrierte Game-</p>

Name	Eignung	Plattform	Kommentar
			Engine. Fazit: Nichts für Anfänger. Das Richtige für Profis, die ein mächtiges kostenfreies Programm benötigen. Wenn es nur um die Modellierung für den 3D-Druck geht, gibt es einfachere Programme.
FreeCAD	Neulinge, Profis, Programmierer	Windows/OSX/ Linux	Ein parametrisches 3D-Konstruktionsprogramm, das zum Entwurf realer Objekte jeder Größe genutzt werden kann. Es ist personalisierbar, skriptfähig, erweiterbar und basiert auf freier Software. Die Einsatzbereiche liegen vorwiegend im Maschinenbau und Produktdesign. Fazit: FreeCAD stellt eine kostenlose Alternative zu den professionellen Programmen dar und ermöglicht Einsteigern, die ersten CAD-Schritte zu unternehmen.

Tabelle 3: Auswahl kostenfreie 3D-Modellierungssoftware

Es gibt zahlreiche weitere Programme, die hier nicht gelistet sind. So zum Beispiel [SketchUp](#) oder auch Programme von Autodesk, wie [Fusion 360](#). Diese sind ebenfalls kostenfrei erhältlich, allerdings mit der Einschränkung der nicht kommerziellen Verwendung. Da der Fokus hier auf komplett kostenfreien 3D-CAD-Programmen liegt, wurden sie von der obigen Auswahl ausgeschlossen.

3.2. Check & Repair

Es ist gut möglich, dass eine selbst erzeugte, eigentlich ordentlich aussehende 3D-Datei gar nicht druckbar oder nur mit großen Mängeln druckbar ist. Manche 3D-Modelle sind allein deshalb nicht druckbar, weil sie bloß aus Hüllen bestehen. Erforderlich für jeden 3D-Druck ist aber ein dreidimensionales Volumenmodell. Tatsächlich hat jedes Volumenmodell eine Hülle. Diese Hülle ist aber geschlossen und hat keine Löcher. Der 3D-Drucker benötigt zum Drucken ein Facettennetz, das er mit Baumaterial füllen kann. Dieses Facettennetz wird auch als „wasserdichtes Modell“ bezeichnet. Ein wasserdichtes Modell ist die erste Voraussetzung, um ein 3D-Modell überhaupt ordentlich drucken zu können. Um Modelle auf 3D-Druckbarkeit zu überprüfen und zu reparieren, wird Prüf- bzw. Reparatursoftware benötigt. Prüfsoftware dient vor allem der Qualitätskontrolle während spezielle

Reparatursoftware zur Reparatur von 3D Daten verwendet wird. Prüf- und Reparatursoftware gibt es in den unterschiedlichsten Preisklassen – auch kostenlos. In nachfolgender Tabelle sind einige dieser kostenfrei zur Verfügung stehenden Programme gelistet.

Name	Plattform	Anwendung	Kommentar
Autodesk Meshmixer	Windows/OSX	Reparatursoftware & Qualitätskontrolle	Das als "Schweizer Taschenmesser" beschriebene Programm ist mehr als ein einfaches STL Reparatur-werkzeug. Meshmixer ist eine vollwertige Modellierungslösung (vgl. Tab. 3). Dieses Tool ermöglicht es, 3D-Modelle zu analysieren und Probleme mit der Datei zu erkennen und erkannte Fehler zu korrigieren. Fazit: mächtiges Werkzeug – nichts für Anfänger
Materialise MiniMagics	Windows	Qualitätskontrolle	Das Programm eignet sich besonders gut für die Qualitätskontrolle. Es ist ein 3D Model Viewer, der Punkt-zu-Punkt-Messungen unterstützt. Zudem lassen sich STL-Dateien bis zu 20-fach komprimieren (.MGX). Fazit: Zur Reparatur einer defekten Datei würde jedoch die kosten-pflichtige Magics-Software benötigt.
MeshLab	Windows/OSX / Linux/ iOS and Android	Reparatursoftware	MeshLab ist ein Open-Source-System zur Anzeige, Verarbeitung und Reparatur der Polygon-Oberflächen-netze von 3D-Modellen. Fazit: Es ist recht intuitiv und leicht erlernbar und damit als Reparatur-Programm ideal.
Autodesk Netfabb Cloud Service	Browser	Reparatursoftware	Bietet kostenlos die Möglichkeit unkorrekte STL-Dateien zu optimieren und zu reparieren. Es funktioniert sehr einfach: STL-Datei hochladen, etwas warten, die reparierte Datei wieder runterladen. Fertig.

Name	Plattform	Anwendung	Kommentar
			Fazit: Einziger Wermutstropfen: ein Microsoft oder Google Account wird zwingend benötigt
MakePrintable	Browser	Reparatursoftware	<p>3D-Modell Reparier-Tool; 3D-Datei in den Cloud-Service hochladen und das Analyse-Tool überprüft, ob diese druckbar ist. Anschließend wird das Modell mittels eines Algorithmus neu berechnet und für den 3D-Druck aufbereitet. Es ist möglich das Modell für einen bestimmten 3D-Drucker vorzubereiten oder aus einer Liste von Dienstleistern auszuwählen. Außerdem ist MakePrintable seit einiger Zeit bereits auf Plattformen wie Thingiverse und 3D Hubs sowie in Sketchup und Blender als Plugin integriert.</p> <p>Fazit: Sehr gut auch für Einsteiger, allerdings sind nur bis zu 3 Modelle pro Monat kostenlos.</p>

Tabelle 4: Auswahl kostenfreie Check & Repair Software für 3D-Druck

Ebenso wie Meshmixer sind auch die Programme FreeCAD und Blender (vgl. Tab. 3) nicht zur CAD-Modellierung geeignet, sondern auch in der Lage, 3D-Modelle auf ihre 3D-Druck-Eignung hin zu überprüfen und ggf. zu reparieren.

3.3. Slicer

Um eine STL-Datei druckbar zu machen, wird eine sogenannte Slicer-Software benötigt. Ein Slicer „schneidet“ das 3D-Objekt in viele horizontale Scheiben und beschreibt für jede Scheibe den Weg, den der Druckkopf abfahren muss. Den sogenannten G-Code. Nicht jedes Programm ist für jeden Drucker geeignet. Viele Druckanlagenhersteller liefern eine proprietäre Software mit oder geben zumindest Empfehlungen. Denn es gibt auch Programme, die verschiedene 3D-Drucker unterstützen und zudem kostenlos im Internet zum Download bereitstehen, wie in Tabelle 5 zu sehen.

Name	Eignung	Plattform	Kommentar
Cura	Einsteiger, Neulinge, Fortgeschrittene & Profis	Windows/OSX/ Linux	<p>Cura ist eine von Ultimaker speziell für deren 3D-Drucker entwickelte Software, die aber auch die Verwendung mit anderen 3D-Druckern zulässt. Sie ist Open Source und vollkommen intuitiv zu bedienen. Außerdem ist sie mit Plugins erweiterbar. Mit Cura ist der Drucker auch direkt steuerbar. Das Programm liefert eine zeitliche Einschätzung wie lange der 3D-Druck ungefähr brauchen wird. Es ist möglich über 200 Einstellungen vorzunehmen. Gute Ergebnisse sind aber auch mit den empfohlenen Einstellungen möglich.</p> <p>Fazit: Cura erfordert keine Vorkenntnisse, sodass *.STL-Dateien ohne Komplikationen geladen in einen gCode umgewandelt und gedruckt werden können. Die Software ist nicht nur für Einsteiger, sondern auch für Fortgeschrittenen und Profis geeignet.</p>
OctoPrint	Fortgeschrittene	Windows/OSX/ Linux	<p>Octoprint ist eine reine 3D-Drucker-Host-Software mit der man 3D-Druckaufträge starten, unterbrechen oder abbrechen kann. In Kombination mit einem WLAN-fähigen Gerät, z.B. dem Raspberry Pi, hat man ein großartiges Hilfsmittel um den 3D-Druckvorgang über das Internet zu überwachen.</p> <p>Fazit: Für Tüftler. Besonders in Verbindung mit 3D-Drucker-Bausätzen geeignet. Damit man nicht nur Daten wie Temperatur überwachen kann, ermöglicht OctoPrint das Streamen per Webcam.</p>
Repetier	Fortgeschrittene & Profis	Windows/OSX/ Linux	<p>Eine der ältesten Open-Source- 3D-Slicer-Software mit reichlich Funktionen. Sie unterstützt bis zu 16 Düsen, Multi-Slicing und so ungefähr jeden FDM-3D-Drucker auf dem Markt. Auch mit Repetier Host hat man zudem Remote Access. Das heißt, man kann</p>

Name	Eignung	Plattform	Kommentar
			den 3D-Drucker von jedem Ort auf der Welt via PC, Tablet oder Smartphone steuern. Fazit: Für erfahrene Anwender, die den 3D-Drucker regelmäßig auch für komplexere Projekte nutzen.
Slic3r	Fortgeschrittene & Profis	Windows/OSX/ Linux	Slic3r verfügt über einen großen Funktionsumfang. So zum Beispiel mehrere Fenster mit denen Nutzer den Druckvorgang genauer simulieren können. Außerdem besteht die Möglichkeit eine Honigwabenfüllung in drei Dimensionen auszuführen und so das Füllmuster von Layer zu Layer variieren zu lassen. Das hat den Effekt, dass die Füllung und das fertige 3D-gedruckte Objekt um einiges robuster werden. Fazit: Für Fortgeschrittene, liefert qualitativ gute Ergebnisse nach umfangreicher Konfiguration.
KISSlicer	Einsteiger, Neulinge	Windows/OSX/ Linux	Der Name steht für „Keep it simple Slicer“. Mit dem Programm ist es möglich einfach und schnell 3D-Modelle in, die für 3D-Drucker notwendige, *.gcode Dateien umzuwandeln. Man benötigt dazu lediglich ein 3D-Modell im Dateiformat *.STL. Fazit: Für die Hobby Designer mit einem 3D-Drucker mit nur einem Druckkopf reicht die gratis Version. Strebt man jedoch nach komplexeren Arbeiten mit mehreren Druckköpfen und mehreren Objekten gleichzeitig wird die Pro Variante für \$42 benötigt.

Tabelle 5: Auswahl kostenfreie Slicer Software für 3D-Druck

4. DRUCKER

Wenn es um die Auswahl eines geeigneten 3D-Druckers geht, stellen sich zunächst zwei grundlegende Fragen:

1. Welches Verfahren kommt für den Anwendungsfall infrage?
2. Wie hoch ist das Investitionsbudget?

Sollte es auf diese Fragen keine befriedigenden Antworten geben, kann es sinnvoller sein, den 3D-Druck auf 3D-Dienstleister auszulagern. Die Angebote der einzelnen 3D-Druck-Dienstleister sind vielschichtig, dabei ist nicht jeder Dienstleister für jede Zielgruppe gleich gut geeignet. Dennoch gibt es für jedes Vorhaben einen geeigneten Anbieter.⁶

4.1. Verfahren

Jeder 3D-Drucker ist immer nur für ein Verfahren einsetzbar. Um Frage eins beantworten zu können, bedarf es daher zunächst Informationen über mögliche Verfahren und deren Anwendungsgebiete. Abb. 2 zeigt, welche Verfahren und Materialien, abhängig von den spezifischen Bauteilanforderungen zur Verfügung stehen.

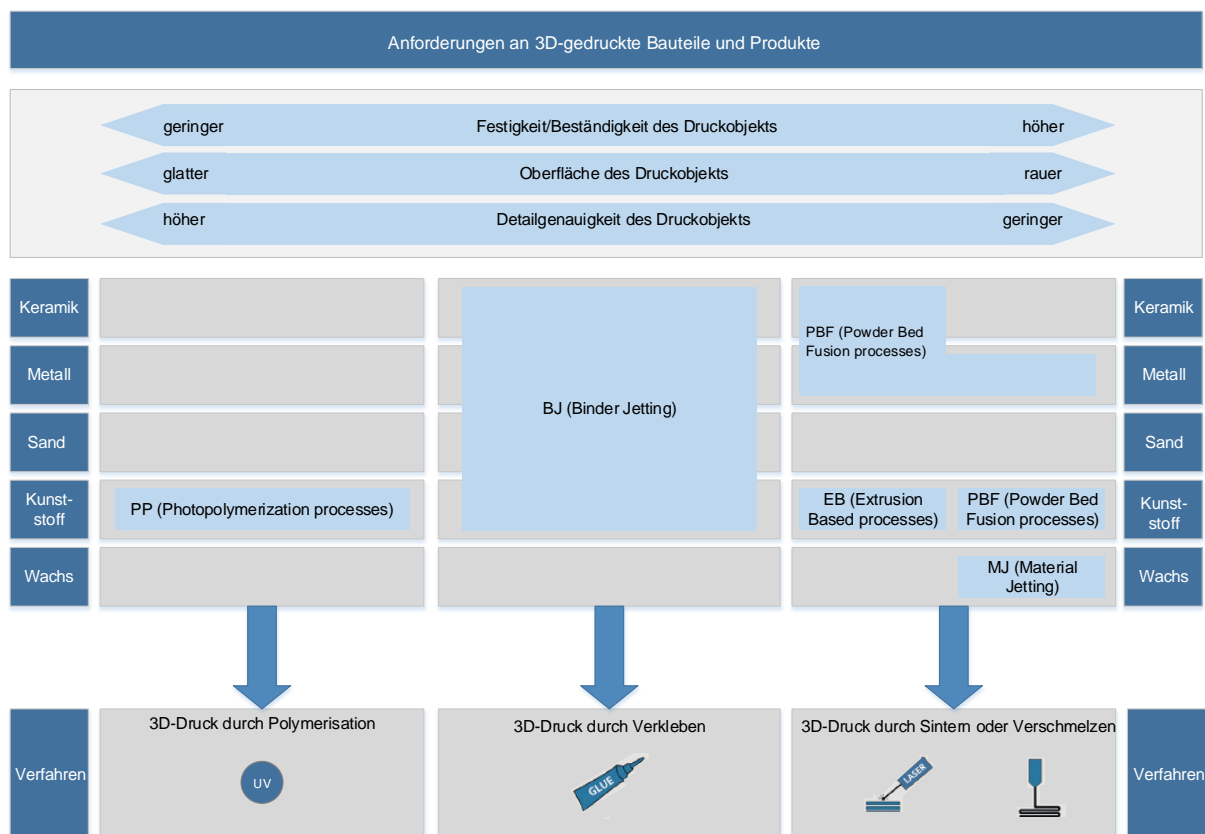


Abbildung 3: Anforderungen an Bauteile und Produkte, sowie mögliche Verfahren und Materialien, entnommen (Richter & Wischmann, 2016).

⁶ Eine Orientierungshilfe zum Einstieg in die Thematik findet sich in (Fiedler, 2015).

Die Zahl der Verfahren ist hoch und wächst aufgrund der kontinuierlichen Technologieentwicklung stetig weiter. Unten stehende Tabelle erläutert die verschiedenen Verfahrensklassen.⁷

Verfahren	Beschreibung	Materialien	Anwendungsbereiche
Powder Bed Fusion processes (PBF)	Bei PBF-Verfahren werden durch eine oder mehrere thermische Quellen -dies sind in der Regel Laser oder Elektronenstrahlquellen - dünne Pulverschichten, die in einem definierten Bauraum abgelegt werden, gesintert bzw. verschmolzen. Die Bauteile müssen nach dem Druckprozess von anhaftendem Pulver befreit werden.	Thermoplasten und Elastomere insbesondere Polyamid oder Nylon; Metalle wie Edelstahl und Werkzeugstahl, Titan und Legierungen; Aluminiumlegierungen; Keramiken	Prototypen für Form- und Passtests sowie Funktionstests; Hilfsteile (Schablonen, Lehren, etc.); Werkzeuge für Spritzguss können in Warmarbeitsstahl hergestellt werden; Kleinserienteile und Unikate
Extrusion Based processes (EB)	Bei EB-Verfahren wird zwischen physikalischen und chemischen Verfahren unterschieden. Im Rahmen von chemischen EB-Verfahren wird ein flüssiges Medium über eine Düse abgelegt, welches durch eine chemische Reaktion in den festen Aggregatzustand wechselt. Bei physikalischen EB-Verfahren werden thermoplastische Kunststoffe über eine beheizte Düse geschmolzen, extrudiert und auf eine beheizte Bauplattform abgelegt. Dieses Verfahren wird oft auch als Fused Deposition Modelling (FDM) bezeichnet.	Thermoplasten insbesondere Polylactide; Acrylnitril-Butadien-Styrol	Prototypen für Form- und Passtests sowie Funktionstests; Hilfsteile (Schablonen, Lehren, ect.); Kleinserienteile
Photopolymerization processes (PP)	Bei PP-Verfahren werden flüssige Photopolymere i. d. R. durch UV-Strahlung punkt- oder schichtweise auf einer Bauplattform vernetzt, so dass sich das Polymer verfestigt. Während des Prozesses ist die Bauplattform in das Photopolymer eingetaucht. Als UV-Quelle dienen meist Laser.	Photopolymere	Prototypen mit hohen Genauigkeiten und guten Oberflächen für visuelle Tests sowie Form- und Passtests; Urmodelle; Werkzeuge für den Spritzguss von Kleinstserien
Material Jetting (MJ)	Bei MJ-Verfahren werden i. d. R. flüssige Photopolymere oder Wachse über einen Druckkopf tropfenweise auf eine	Photopolymere; Wachs	Prototypen mit hohen Oberflächengenauigkeiten; Gussmodelle mit hoher Genauigkeit und

⁷ Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Verfahren findet sich u.a. in (Gebhardt, 2016)

Verfahren	Beschreibung	Materialien	Anwendungsbereiche
	Bauplatzform abgelegt und durch UV-Licht polymerisiert. Für die tropfenweise Ablage haben sich insbesondere zwei Technologien etabliert, die continuous stream (CS) und DOD-Methode.		guten Oberflächen, insbesondere für die Medizin-, Dental- und Schmuckindustrie
Binder Jetting (BJ)	Bei BJ-Prozessen wird ein Bindemittel auf ein Pulver aufgetragen, so dass dieses Schicht für Schicht infiltriert und zu einem dreidimensionalen Objekt verbunden wird. Das Verfahren ist auch unter dem Synonym 3D Printing (3DP) bekannt. Die Objekte werden nach dem Druck ggf. zusätzlich mit weiteren Bindemitteln infiltriert oder thermisch behandelt, u. a. um eine höhere Festigkeit zu erzeugen.	Stärke + wasserbasierte Bindemittel; Metalle + Bronze oder Kunststoffe; Sand + Kunststoffe; Keramik + Kunststoffe	Prototypen in voller Farbe für Form- und Passtests; Grünteile; Urmodelle für den Guss; Gussformen und Gusskerne aus speziellem Gussand
Sheet Lamination processes (SL)	Bei SL-Prozessen werden dünne, zweidimensionale Flächen aus einem Werkstoff ausgeschnitten und Layer für Layer zusammengefügt, so dass ein dreidimensionales Objekt entsteht.	Papier; Metalle; Kunststoffe; Keramiken	Verschiedenfarbige Prototypen für Form- und Passtests
Directed Energy Deposition processes (DED)	Bei DED-Verfahren werden mit Hilfe eines Lasers oder einer Elektronenstrahlquelle simultan das Substrat sowie das Material, das auf dem Substrat abgelegt werden soll, aufgeschmolzen und dem Druckpunkt kontinuierlich zugeführt. Im Gegensatz zu PBF-Verfahren wird das Material während der Ablage aufgeschmolzen.	Metalle; Kunststoffe; Keramiken	siehe PBF

Tabelle 6: 3D-Druckverfahren und Anwendungsbereiche, entnommen (Richter & Wischmann, 2016)

Die Investitionsentscheidung für einen 3D-Drucker hängt natürlich von mehr Kriterien ab, als nur vom Budget. Das passende 3D-Druck-Verfahren für die jeweilige Fertigungsaufgabe zu finden ist schwierig, weil viele Merkmale, wie z.B. Genauigkeit, Haltbarkeit, Belastbarkeit, Druckgeschwindigkeit, Werkstoffauswahl und Kriterien, wie z.B. Bürotauglichkeit, Betriebskosten eine Rolle spielen. Eine erste Hilfestellung stellt die Verfahrensauswahlmatrix dar, wie sie in (Feldmann & Pumpe, 2016) zu finden ist. Wurde das passende Verfahren gefunden, ist die Bandbreite möglicher Modelle und

Hersteller immer noch groß. (Gebhardt, Kessler, & Thurn, 2016) unterscheiden folgende vier Maschinenklassen:

- **Personal Printer** für die halbprofessionelle oder private Nutzung. Sie unterscheiden sich in sogenannte Fabber, das sind Bausätze zum Selbst-Zusammenbau und Desktop Printer also Komplettmaschinen.

Personal Printer	
Maschinenpreis	Bausätze (Fabber) ab ca. 120 € bis 1.000 € Desktop Printer ab ca. 1.000 bis 10.000 €
Software	Open Source / Herstellerspezifisch Plug & Play
Geräte (Beispiele) & Fazit	
ausführlich erläutert in Kap. 4.2 & 4.3	

- **Professional Printer** für die kommerzielle Nutzung im Büro oder in der Werkstatt

Professional Printer	
Maschinenpreis	ab ca. 20.000 bis ca. 70.000 €
Software	Herstellerspezifisch Plug & Play
Geräte (Beispiele)	
Hersteller / Modell	Keyence / Agilista-3200W
Material / Verfahren	Kunststoff / Polymer Printing
Hersteller / Modell	Stratasys / Dimension Elite
Material / Verfahren	Kunststoff / Extrusion
Hersteller / Modell	Stratasys / Objet 30 prime
Material / Verfahren	Kunststoff / PolyJet
Hersteller / Modell	3D Systems / ZPrinter 450
Material / Verfahren	Gipskeramik / 3D Printing
Fazit	
Vorteile	vorgegebene Parametersätze, kurze Schulung, Büroumgebung ausreichend
Nachteile	teilweise hohe Materialkosten und teilweise Abhängigkeit von Maschinenhersteller (Software/Material)

Tabelle 7: Übersicht Professionell 3D-Printer

- **Production Printer** für die industrielle Nutzung in der Produktion oder im Dienstleistungsbereich

Production Printer	
Maschinenpreis	Von 130.000 € bis 1.800.000 € und darüber
Software	Herstellerspezifisch Plug & Play
Geräte (Beispiele)	

Hersteller / Modell:	3D Systems / ProX® 950
Material / Verfahren:	Kunststoff / Stereolithographie
Hersteller / Modell:	Voxeljet / VX2000
Material / Verfahren:	Kunststoff / 3D Printing
Hersteller / Modell:	Concept Laser / M3 Linear
Material / Verfahren:	Metall / Laser Cusing bzw.-Melting
Hersteller / Modell:	EOS GmbH / P800
Material / Verfahren:	Kunststoff / Lasersintern
Fazit	
Vorteile	vorgegebene Parameter, große Materialpalette, geringer Ausschuss
Nachteile	immer Nacharbeit nötig, hohe Maschinenkosten, hohe Materialkosten, Werkstattumgebung erforderlich

Tabelle 8: Übersicht Production 3D-Printer

- **Industrial Printer** für die industrielle Nutzung in der Serienproduktion.

Industrial Printer	
Maschinenpreis	Ab 1.200.000 €; mit Modulen ab 2.000.000 €
Software	Herstellerspezifisch Plug & Play
Geräte (Beispiele)	
Noch nicht auf dem Markt. Es gibt erste Konzeptstudien für Flexibles AM System von Additive Industries (AI) mit MetalFAB1 und Concept Laser mit Factory of Tomorrow.	
Fazit	
Vorteile	modulare Produktionssysteme mit angeschlossener Wärmebehandlungseinheit und Lagerungsvorrichtung Individuell anpassbar, Steigerung der Produktivität
Nachteile	immer Nacharbeit nötig, hohe Maschinenkosten, hohe Materialkosten, Werkstattumgebung erforderlich

Tabelle 9: Übersicht Industrial 3D-Printer

Wenn in Bezug auf Frage zwei zunächst ein eher geringes Budget zur Verfügung steht, das Unternehmen sich also in der Phase der Technologieerprobung befindet, um Know-how aufzubauen, ist es ratsam, sich für ein vergleichsweise kostengünstiges Verfahren zu entscheiden. Fused Deposition Modelling (FDM) ist ein solches Verfahren, hier gibt es bereits Geräte für wenige Hundert Euro.

4.2. Bausätze (Fabber)

Wenn es darum geht, 3D-Druck auszuprobieren, gibt es die Möglichkeit sich einen Drucker selber zu bauen bzw. zu montieren. Hierfür bieten verschieden Hersteller

sogenannte Bausätze an, diese sind gut geeignet, um die Grundlagen des 3D-Druckens mit allen Vor- und Nachteilen kennenzulernen.



Abbildung 4: Bausatz Prusa i3 MK2 (Prusa)

Vor der Anschaffung eines derartigen 3D-Druckers sollte allerdings beachtet werden, dass man ein Gerät montiert, dessen Einzelkomponenten hinterher perfekt zusammenspielen müssen, um ein qualitativ akzeptables Druckergebnis zu erzielen. Das bedeutet, es wird handwerkliches Geschick, Werkzeug (z.B. Lötkolben) und Zeit (unter Umständen mehr als einen Tag) benötigt. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Komponenten des Prusa i3 MK2. Hierbei handelt es sich um einen FDM-Drucker, wie nahezu alle Bausätze. Sehr hilfreich beim Zusammenbau und den ersten Versuchen ist die große Community mit Blogs, Videos und Foren. Tabelle 10 zeigt eine Auswahl beliebter Bausätze.

Hersteller	Modell	Preis	Bauraum (mm)	Software (Slicing)	Verfahren / Material
iMakr	Startt	99,99 €	120 x 140 x 130	Cura	FDM / PLA
Anet	Anet A2	ca. 266,00 €	220 x 220 x 220	Cura/Repetier-Host	FDM / PLA, ABS, TPU, WOOD, PVA, Nylon, PVA, PP
eMotion-Tech	MicroDelta Rework	400,00 €	150 x 200	Repetier-Host μ Delta	FDM / PLA

Hersteller	Modell	Preis	Bauraum (mm)	Software (Slicing)	Verfahren / Material
Ultimaker	Original DIY	ca. 949,00 €	210 x 210 x 205	Cura	FDM / ABS, PLA, Laywood, Laybrick ...
Velleman	Vertex K8400	ca. 599,00 €	180 x 200 x 190	Repetier, Cura, Slic3r	FDM / PLA
Prusa Research	Prusa i3 MK2S kit	739,00 €	250 x 210 x 200	Slic3r, Simplify3D, KISSlicer, Cura	FDM / PLA, ABS, PET, HIPS, Flex PP, Ninjaflex, Laywood, Laybrick, Nylon, Bamboofill, Bronzefill, ASA, T-Glase, Carbon- fibers enhanced filaments, Polycarbonates...
Sintratec	Sintratec Kit	4.999,00 €	130 x 130 x 130	Sintratec Central	SLS / PA12
Fazit					
Vorteile	geringe Maschinenkosten, geringe Materialkosten, große Materialpalette, keine Anforderungen an Umgebung (nur Steckdose)				
Nachteile	Maschinenbedienung nicht Plug & Play, hoher Ausschuss, meist keine Stützstrukturen möglich				

Tabelle 10: Auswahl 3D-Drucker-Bausätze

Neben den DIY-Geräten, die „nur“ noch montiert werden müssen, besteht für eingefleischte Bastler zudem die Möglichkeit sich die einzelnen Komponenten selber zu beschaffen und komplett in Eigenregie zu bauen. Auch hier steht die Internetgemeinde mit Rat und Tat zur Seite. So existieren beispielsweise im [RepRap-Wiki](#) zahlreiche Bauanleitungen für mittlerweile über 70 verschiedene freigegebene 3D-Drucker.

4.3. Personal (Desktop) Printer

Personal Printer oder auch Desktop Printer genannt, sind vorzugsweise im professionellen oder semi-professionellen Bereich eingesetzte 3D-Drucker. Sie sind an der untersten Preisgrenze angesiedelte Maschinen, aber keine Selbstbausysteme, sondern einfache, nach kurzer Schulung zu bedienende Drucker mit ausreichend

hoher Genauigkeit. Die Produktivität steht eher im Hintergrund. Die Mehrheit der Desktop Printer arbeitet nach dem FDM-Verfahren, aber es gibt auch preisgünstige Printer, die mittels des Stereolithographie- oder Lasersinterverfahrens Bauteile generieren. Die Software für Desktop Printer wird größtenteils vom Hersteller entwickelt und mit dem Kauf des Druckers dem Kunden zur Verfügung gestellt.

Hersteller	Modell	Preis ab	Bauraum (mm)	Software (Slicing)	Verfahren / Material
Ultimaker	UM 3 Dual Extrusion	3.599,00 €	215 x 215 x 200	Cura	FDM / Nylon, PLA, ABS, CPE, PVA
Formlabs	Form 2	3.899,00 €	175 x 145 x 145	PreForm	SLA / Kunstharz
3D Sytems	ProJet 1200	3.649,00 €	43 x 27 x 180	3DSPrint	SLA / Kunstharz (VisiJet FTX in 6 verschiedenen Ausführungen)
German RepRap	X400 PRO V3 Dual Extruder	8.229,00 €	390 x 400 x 330	Simplify3D	FFF (FDM) / ABS, PLA, PVA, PET, u.a.
MakerBot	Replicator 2X	2.375,00 €	250 x 160 x 150	MakerBot Desktop	FDM / ABS
XYZPrinting	da Vinci 1.0 Pro	699,00 €	200 x 200 x 200	XYZware	FDM / PLA, ABS
Sintratec	Sintratec S1	~21.000,00 €	130 x 130 x 180	Sintratec Central	SLS / PA12
Fazit					
Vorteile	geringe Maschinenkosten, teilweise Stützstrukturen möglich, vorgegebene Parametersätze, viele Zubehörmöglichkeiten (Waschmaschine für das Stützmaterial, Scanner, Kamera zur Prozessüberwachung, Integration ins LAN/WLAN etc.), keine Anforderungen an Umgebung (nur Steckdose)				
Nachteile	teilweise hohe Materialkosten, teilweise Abhängigkeit von Maschinenhersteller (Software/Material)				

Tabelle 11: Auswahl Desktop-3D-Drucker

5. FALLBEISPIEL

Nachdem in Kapitel 2 der Druckprozess erläutert wurde, in Kapitel 3 die verschiedenen notwendigen Programme beschrieben wurden und in Kapitel 4 eine Auseinandersetzung mit möglichen Verfahren und Druckern stattfand, folgt nun ein Fallbeispiel anhand welchem das konkrete Vorgehen von der Erstellung eines CAD-Modells bis hin zum gedruckten Objekt aufgezeigt wird.

Modellieren mit TinkerCAD

Einige Voraussetzung, um das Onlinetool nutzen zu können, ist die einmalige Erstellung eines Zugangskontos. Zukünftig hat man dann mit seiner E-Mail-Adresse und gewähltem Passwort Zugriff auf die bisher erstellten Designs. Nachfolgende Abbildung zeigt die Arbeitsebene und Funktionen.

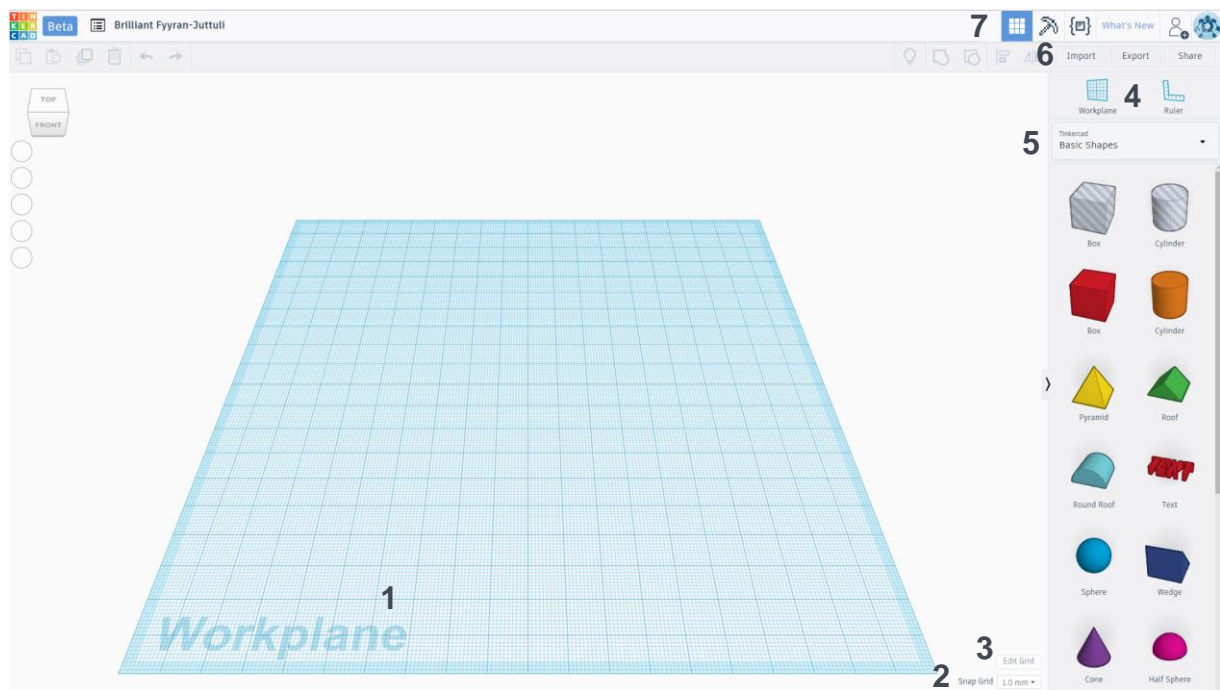
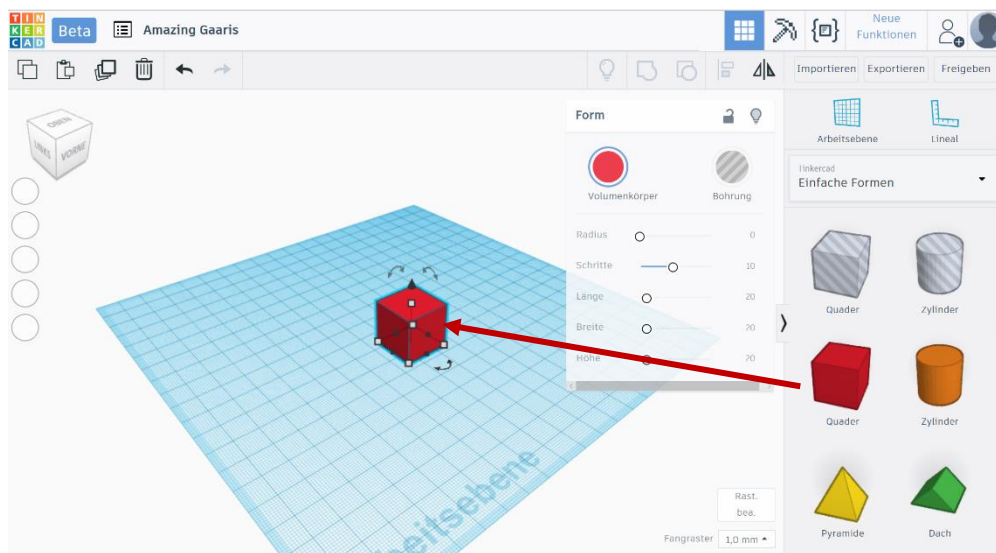


Abbildung 5: Grundansicht TinkerCad mit Legende

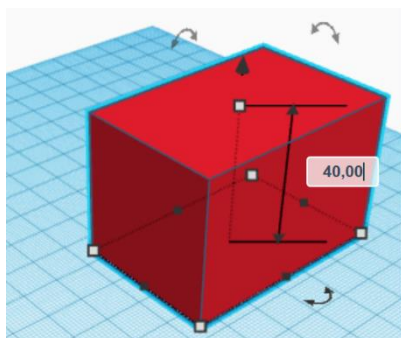
- 1 Arbeitsebene
- 2 Die Abstände auf dem „Millimeterpapier“ sind veränderbar.
- 3 Es kann von [mm] auf [inch] gewechselt werden und die Größe sowie das Aussehen der Arbeitsebene lassen sich einstellen.
- 4 Hilfswerkzeuge: für eine zusätzliche Ebene sowie ein Lineal für die Einstellung und Überprüfung der Maße.
- 5 Auf der rechten Seite befindet sich die Liste der wählbaren Grundformen. Außerdem kann man noch zwischen verschiedenen Varianten an Text, Symbolen und Verbindern wählen.

- 6 Hier lassen sich bereits vorhandene Dateien in den Formaten *.stl, *.obj und *.svg importieren bzw. erstellte Designs exportieren. Wer möchte, hat zudem die Möglichkeit sein Modell direkt mit anderen zu teilen oder es auf Thingiverse oder MyMiniFactory online zu stellen.
- 7 Hier kann vom TinkerCad Editor zum Voxelizer⁸ oder zum Shape Generator⁹ gewechselt werden.

Ein Haus designen



Objekte werden direkt aus der Bibliothek auf die Arbeitsfläche gezogen. Neben den farbigen „Add“-Objekten gibt es „Sub“-Objekte, die Material abtragen. So lassen sich beispielsweise Hohlräume erzeugen.

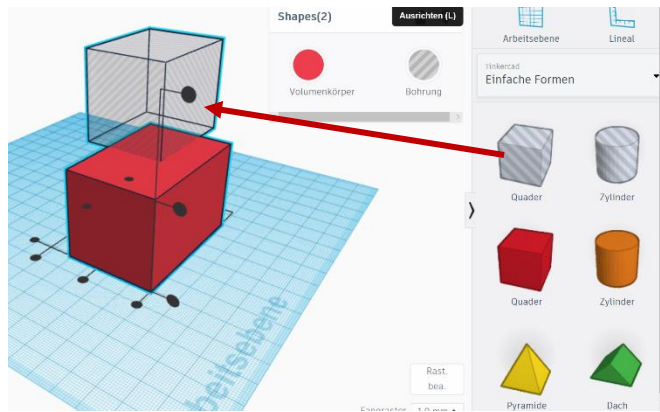


Das eingefügte Objekt ist nun parametrisierbar. Maße können direkt eingegeben oder durch Ziehen mit der Maus verändert werden. Außerdem lässt sich das Objekt um die drei Achsen drehen.

Da ein Haus aus Wänden besteht, ist es notwendig, aus dem inneren des Quaders Material abzutragen. Dazu wird ein entsprechendes graues Element gewählt und an der gewünschten Stelle platziert. Nun müssen die Maße so gewählt werden, dass die gewünschte Wandstärke des roten Objektes stehen bleibt. Um die beiden Objekte symmetrisch zu positionieren, werden beide Quader markiert und der Befehl

⁸ Dieser zeigt das Objekt in Voxel, so genannten Volumenelementen (kleine Würfel) an.

⁹ Hier lassen sich neue Formen programmiert werden, falls die vorhandenen Grund- und Erweiterungsformen nicht ausreichen (für Erfahrene).

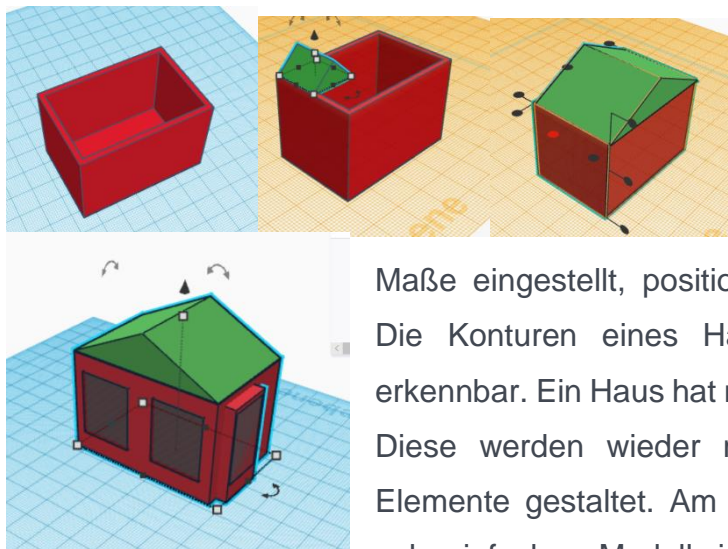
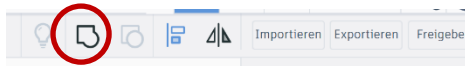


„Ausrichten“ ausgeführt. Die mittleren Punkte werden ausgewählt, um den oberen Quader auf der Oberfläche des unteren Quaders zu zentrieren.



Nun sind bereits zwei Objekte erstellt. Um den Korpus für unser Haus zu

erhalten, müssen die Objekte noch gruppiert werden, d. h. sie werden miteinander verbunden und gelten als ein Objekt.



Nun fehlt noch das Dach. Analog zum Erstellen des Quaders wird nun ein Prisma auf die Arbeitsebene gezogen, die

Maße eingestellt, positioniert, ausgerichtet und gruppiert. Die Konturen eines Hauses sind nun schon deutlich erkennbar. Ein Haus hat natürlich auch Fenstern und Türen. Diese werden wieder mithilfe der grauen abtragenden Elemente gestaltet. Am Ende erhält man ein, zugegeben sehr einfaches, Modell eines klassischen Einfamilienhauses

mit einer Eingangstür und Fenstern auf zwei Fronten. Dieses kann nun im STL-Format für die weitere Verwendung exportiert werden.

Check & Repair mit MakePrintable

Auch dieses Online-Tool erfordert eine vorherige Anmeldung, dann kann aber sofort gestartet werden. Nicht nur STL-Dateien können geladen werden, sondern auch über 15 andere Formate. Einzige Einschränkung, die Dateien dürfen nicht größer als 200 MB sein, was lediglich bei Scandaten zum Problem werden kann. Nach dem Upload erfolgt eine Analyse und anschließende Reparatur, wobei man zwischen „Quick Repair“ und „Advanced Repair“ wählen kann. Bei der ersten Option erfolgt die Analyse und Reparatur vollautomatisch. Bei der zweiten Option hat der Nutzer Einstellmöglichkeiten, die aber größtenteils nur für den Bezahlmodus freigeschaltet sind.

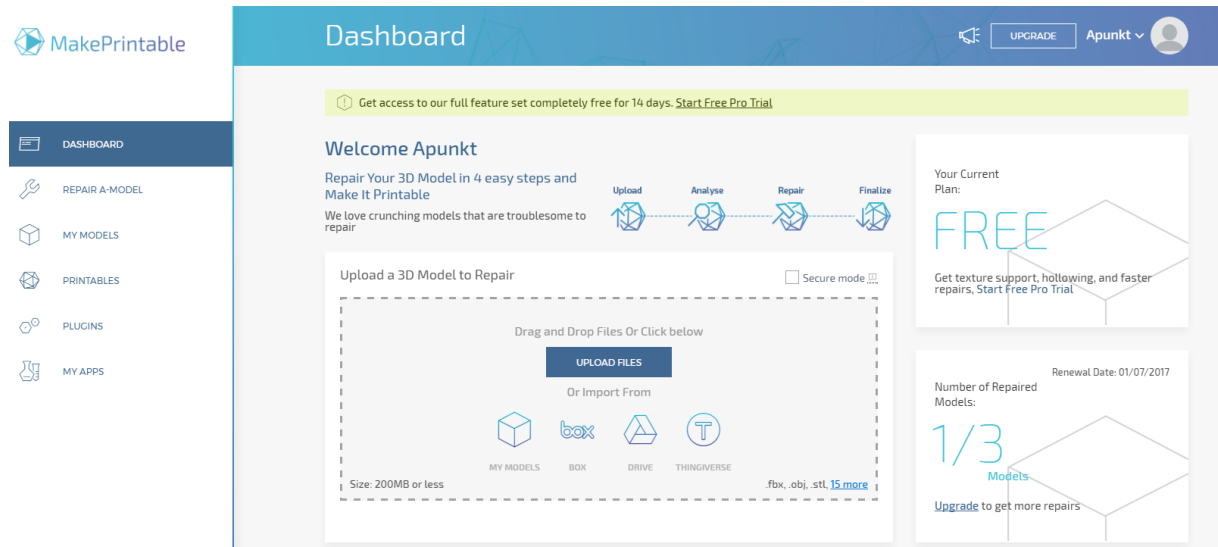


Abbildung 6: MakePrintable nach der Anmeldung

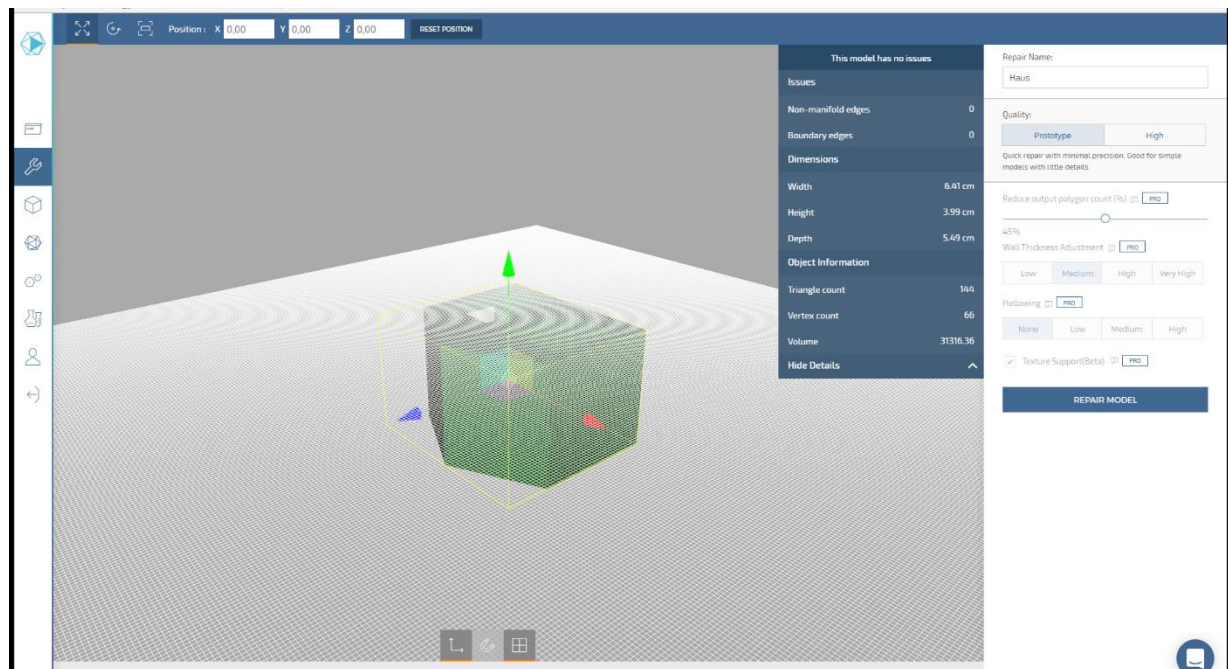


Abbildung 7: Ansicht "Advanced Repair"

Hat man die gewünschten Parameter eingestellt, kann die Analyse und Reparatur beginnen. Dies kann je nach Modell einige Minuten in Anspruch nehmen.

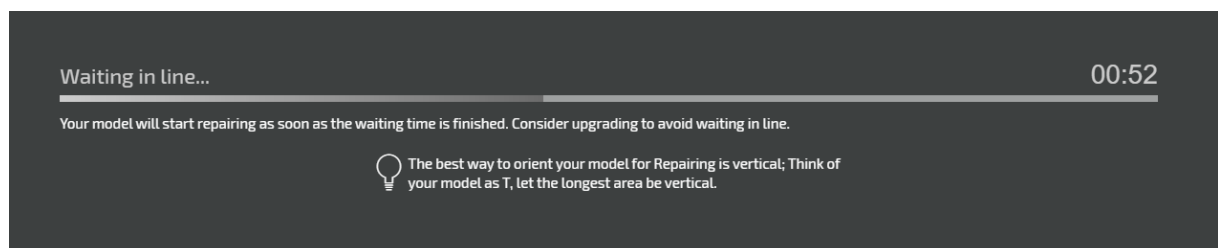


Abbildung 8: Anzeige der verbleibenden Zeit während der Analyse und Reparatur

Ist dieser Vorgang abgeschlossen, wird ein Vergleichsbild angezeigt, indem sich erkennen lässt, welche Veränderungen vorgenommen wurden. In unserem Fall wurde das Dreiecksnetz erheblich vergrößert und die Maße minimal angepasst.



Abbildung 9: Ergebnis der Reparatur

Das reparierte Modell kann heruntergeladen werden und ist nun druckbar.

Drucken mit dem Ultimaker 3 Extended

Hierbei handelt es sich um den „großen Bruder“, des in Tab. 11 beschriebenen Desktop-3D-Druckers (größerer Bauraum: 215 x 215 x 300 mm). Der Drucker nutzt das Extrusionsverfahren (FDM) und verfügt über zwei Druckköpfe. Damit ist es beispielsweise möglich, für die Stützstrukturen ein anderes Material (z.B. wasserlösliches PVA) zu verwenden. Um nun das selbstdesignte und reparierte Modell drucken zu können, wird eine Druckvorbereitungssoftware (Slicer) benötigt. In unserem Fall ist das Cura (vgl. Abb. 10). Das Programm erlaubt inzwischen zahlreiche Einstellungen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, nachdem der Drucker gewählt und das Material, welches sich im Drucker befindet, spezifiziert ist, mit den „Empfohlen“-en Einstellungen fortzufahren. Allerdings sollte man darauf achten Stützstrukturen einzustellen, die sind immer dort notwendig, wo es keine Verbindung zur Druckplattform gibt. Wird die Option gewählt setzt Cura diese automatisch an den erforderlichen Stellen (vgl. Abb. 11).

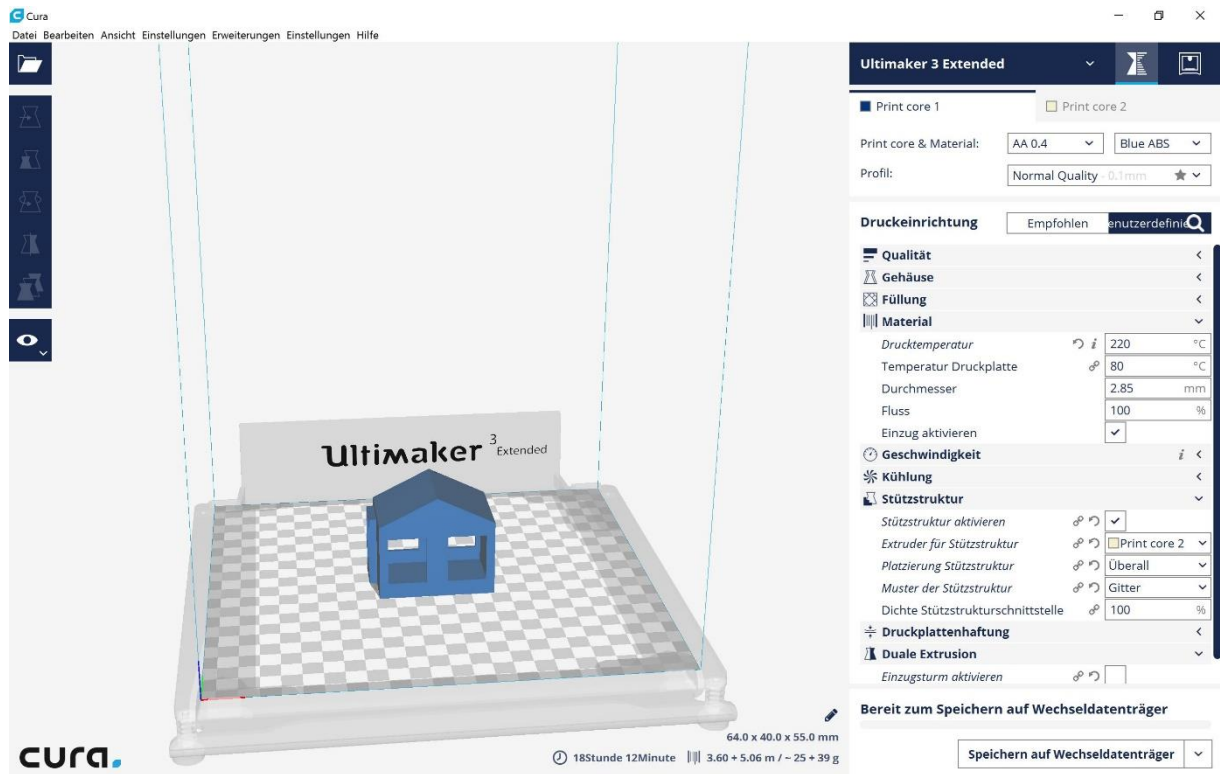


Abbildung 10: Darstellung des Modells in Cura

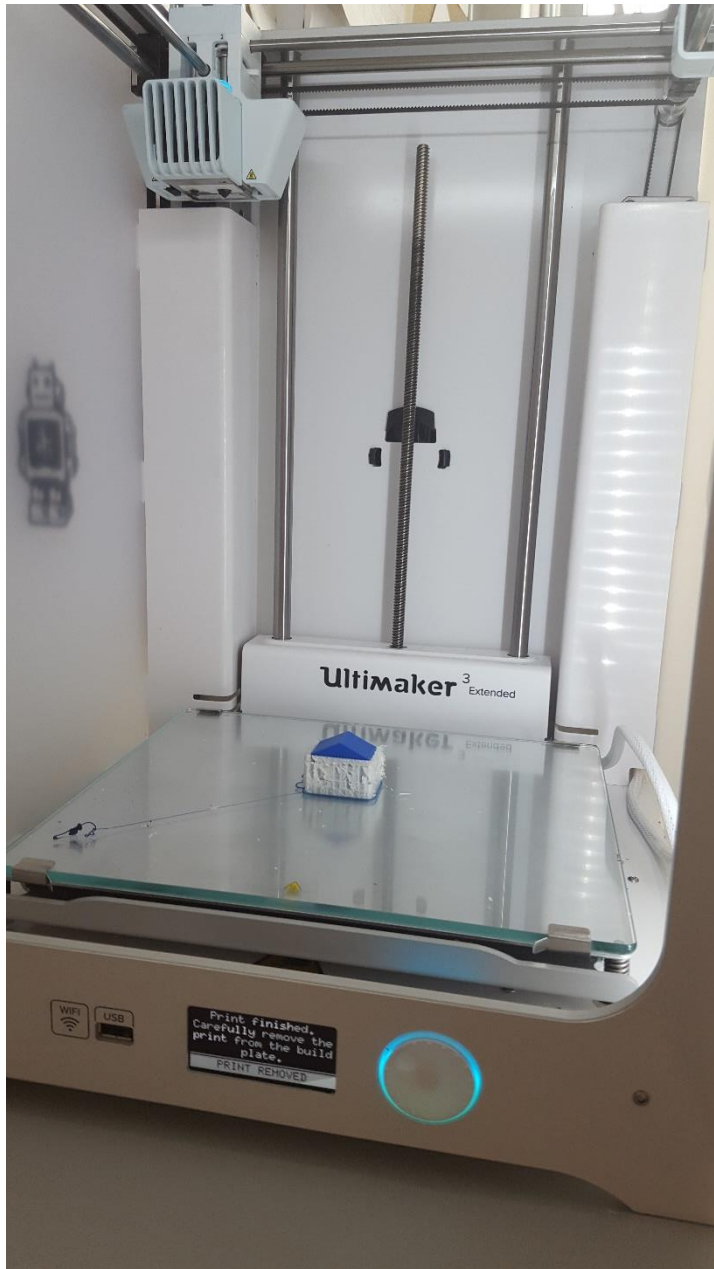


Abbildung 11: Modell mit Stützstruktur in Cura

Durch die Funktion „speichern“ wird eine gCode-Datei erzeugt, welche nun an den Drucker über einen mitgelieferten USB-Stick übergeben werden kann. Der Ultimaker 3 ext. verfügt aber auch über WLAN und eine LAN-Schnittstelle, wird also eine Verbindung hergestellt kann der Druck direkt aus Cura gestartet und später dank der eingebauten Kamera überwacht werden (vgl. Abb. 12). Für die Überwachung während des Drucks stellt Ultimaker auch eine App zur Verfügung, die das Kamerabild des Druckers auf z. B. ein Smartphone überträgt.

The screenshot displays the Cura software interface during a 3D printing process. On the left, a settings panel shows dimensions for X (32 mm), Y (20 mm), and Z (27.5 mm), along with checkboxes for 'Snap-Skalierung' (unchecked) and 'Einheitliche Skalierung' (checked). The central 3D view shows a white printed object on a blue and white checkered grid. The right sidebar, titled 'Ultimaker 3 Extended', provides printer status: 'um', 'Über Netzwerk verbunden.', 'Print core 1: 175°C', 'Print core 2: 216°C', 'Druckbett: 79.5°C', and 'Aktiver Druck' with a progress bar at 62%. The bottom status bar shows 'Es wird gedruckt...', '03Stunde 32Minute', and '0.54 + 0.92 m / ~ 3 + 7 g'.

Abbildung 12: Livebild in Cura während des Drucks



Die Abbildungen zeigen das Objekt nach beendetem Druckvorgang. Deutlich zu sehen sind das weiße wasserlösliche Stützmaterial (PVA) und das blaue ABS für das eigentliche Druckobjekt. Nach Behandlung mit warmen Wasser erscheint das Endresultat.

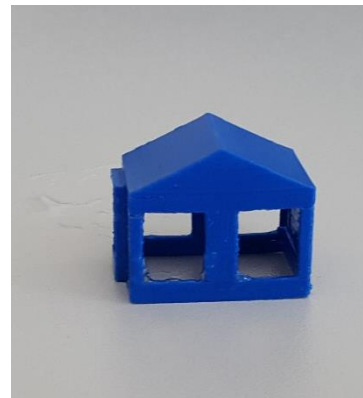


Abbildung 13: Nach dem Druck mit und ohne Stützmaterial

6. MATERIALIEN

Zum Abschluss noch ein Wort zu den Materialien. Die meisten der hier vorgestellten Bausätze und Desktop-Drucker nutzen das FDM-Verfahren und setzen somit auf Kunststoff. Die Palette der angebotenen Kunststoffe ist inzwischen groß. So wie jedes 3D-Druck-Verfahren andere Werkstoffe verarbeiten kann, ist auch nicht jeder Drucker einer Verfahrensklasse in der Lage, jedes Material zu verarbeiten. Die Werkstoffe unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich der Verarbeitungstemperatur, der Belastbarkeit und anderer physikalischer Eigenschaften. Die Datenblätter mit den

genauen Eigenschaften sind beim jeweiligen Hersteller erhältlich. Nachfolgend werden für drei etablierte Verfahren typische Werkstoffe genannt und kurz erläutert.

Selective Laser Melting (SLM)

Dieses Verfahren basiert auf einem Metallpulver, das in einem Mikroschweißprozess schichtweise aufgeschmolzen wird. Es entstehen belastbare und dichte Metallbauteile.

Mögliche Werkstoffe sind:

- Edelstahl 1.4404
Nichtrostend, austenitisch, säurebeständig, einsetzbar in der Lebensmittelindustrie
- Edelstahl 1.4542
Nichtrostend, ausscheidungshärtend, säurebeständig
- Edelstahl 1.4828
Nichtrostend, austenitisch, hitzebeständig, für Hochtemperaturbauteile in Kombination mit mechanischer Belastung
- Werkzeugstahl 1.2709
Warmarbeitsstahl, hochbelastbar
- Aluminium AlSi12 / AlSi10Mg
Statisch und dynamisch belastbar, Leichtbauwerkstoff
- Aluminium AlSi9Cu3
Statisch und dynamisch belastbar, Leichtbauwerkstoff

Selective Laser Sintering (SLS)

Beim SLS-Verfahren wird ein Kunststoffpulver schichtweise aufgeschmolzen. Da kein Stützmaterial benötigt wird, besitzt es die höchste Geometriefreiheit im 3D-Druck.

Typische Werkstoffe sind:

- PA 2200
Polyamid 12, gute mechanische Eigenschaften, Nachbearbeitung möglich, biokompatibel nach EN ISO 10993-1, Substitutionswerkstoff für übliche Spritzgießwerkstoffe
- PA 2201
Eigenschaften wie PA 2200, Zusätzlich Zertifizierung für die Lebensmitteltechnik nach FDA, 21 CFR §177.1500 9(b), mit Ausnahme alkoholischer Lebensmittel
- PEEK

Hochleistungspolymer, Polyaryletherketon, für Hochtemperatureinsatz geeignet, chemikalienresistent, hydrolysebeständig, sterilisierbar

Fused Deposition Modeling (FDM)

Bei diesem Verfahren wird ein Kunststoffdraht in einer Heizdüse aufgeschmolzen. Der aufgeschmolzene Kunststoff wird schichtweise abgelegt und ein dreidimensionales Bauteil entsteht. Die beiden am häufigsten eingesetzten Werkstoffe sind:

- ABS
Thermoplastischer Werkstoff, mit löslichem Support herstellbar, verschiedene Farboptionen
- PLA
Bestens geeignet für Anschauungsmuster, Prototypen, unbelastete Bauteile (z. B. Abdeckungen, Kappen, Deckel), in diversen Farbvarianten verfügbar

LITERATURVERZEICHNIS

- Anderl, R., & Arndt, A. (2014). *Additive Manufacturing oder generative Fertigungsverfahren - vom Prototypen zur Massenfertigung?* Technische Universität Darmstadt, Maschinenbau, Darmstadt. Abgerufen am 17. Juni 2015 von http://www.hessen-nanotech.de/mm/mm001/3D_Additive_Manufacturing_Anderl_TUD.pdf
- Apis Cor. (20. Februar 2017). *The first on-site house has been printed in Russia*. Von Apis Cor: <http://apis-cor.com/en/about/news/first-house> abgerufen
- Feldmann, C., & Pumpe, A. (2016). *3D - Druck - Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit. Entscheidungsunterstützung für Unternehmen*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Fiedler, A. (11 2015). *3D-Druckdienstleister*. (H. Schinzer, Hrsg.) Von Hochschule Merseburg. Projekt "3D@KMU": https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht6_3dDL.pdf abgerufen
- Fiedler, A. (12 2016). *Vom Original zur Kopie: Reverse Engineering für den 3D-Druck*. (H. Wenzel-Schinzer, Hrsg.) Von Hochschule Merseburg. Projekt "3d@KMU": https://www.hs-merseburg.de/fileadmin/fb_ww/3D_KMU/3D_at_KMU_Arbeitsbericht10_RE_4_AM.pdf abgerufen
- Gebhardt, A. (2016). *Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion* (5. Ausg.). München: Carl Hanser.
- Gebhardt, A., Kessler, J., & Thurn, L. (2016). *3D-Drucken, Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM)*. München: Carl Hanser Verlag.
- Gershenfeld, N. (2005). *Fab – The Coming Revolution on Your Desktop from Personal Computers to Personal Fabrication*. New York: Basic Books.
- Giessen, H. (28. Juni 2016). *3D printing enables the smallest complex micro-objectives*. Von Uni Stuttgart: https://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2016/049_optische_linsen.html?__locale=en abgerufen
- Kreimeyer, M. (15. Dezember 2015). *Selbst hergestellter Modellbausatz aus dem 3D Drucker*. Von 3Druck: <https://3druck.com/case-studies/selbst-hergestellter-modellbausatz-aus-dem-3d-drucker-2640327/> abgerufen

Prusa, J. (kein Datum). *Prusa3D*. Von 3D Printing Handbook:
http://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk2_en.pdf abgerufen

Richter, S., & Wischmann, S. (2016). *Additive Fertigungsmethoden - Entwicklungsstand, Marktperspektiven für den industriellen Einsatz und IKT-spezifische Herausforderungen bei Forschung und Entwicklung*. Berlin: Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0.

Wyss Institute. (11. Oktober 2016). *A step forward in building functional human tissues*. Von Wyss Harvard: <https://wyss.harvard.edu/a-step-forward-in-building-functional-human-tissues/> abgerufen

Zieverink, J. (3. August 2015). *FDA approves the first 3d printed drug product*. Von Aprelia Pharmaceuticals:
https://www.aprelia.com/pdf/2015_08_03_Spritam_FDA_Approval_Press_Release.pdf abgerufen