

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Stand der Technik & technische Grundlagen	6
2.1 Drucktechniken	6
2.1.1 Schmelzschichtverfahren	6
2.1.2 Stereolithographie	6
2.1.3 Sintern	7
2.1.4 Binder-Verfahren	7
2.1.5 Schicht-Laminat-Verfahren	7
2.2 Materialien	8
2.2.1 Metalle und deren Legierungen	8
2.2.2 Monomere	8
2.2.3 Thermoplaste	8
2.3 Stabilitätsanalyse	9
2.3.1 Schmelzschichtverfahren	9
2.3.2 Stereolithographie	9
2.3.3 Elektronenstrahlschmelzen	9
2.3.4 Lasersintering	9
2.3.5 Binder-Verfahren	9
2.3.6 Schicht-Laminat-Verfahren	10
2.4 Computer-Aided Design (CAD)	10
2.4.1 CAD-Programme	10
Solid Edge	10
blender	11
2.4.2 Slicing	11
Cura	11
Repetierhost	12
2.4.3 Dateiformate	12
Stereolithography (STL)	12
G-code	13
2.5 ZTemperaturtestdrcuk	13
2.6 Der dreidimensional (3D)-Drucker Ultimaker 2	14
3 Entwicklung eines technischen Objekts	15
3.1 Ist-Analyse	16
3.2 Konzept: Modulare Boxen	17
3.3 Entwurf	17
3.4 Druck des Objekts	19
3.5 Fazit: Eignung für technische Objekte	20

3.5.1	Material	20
3.5.2	Liniendicke	20
3.5.3	Höhe	21
4	Entwicklung eines organischen Objekts	22
4.1	Konzept	22
4.2	Entwurf	23
4.3	Druck des Objekts	24
4.4	Fazit: Eignung für organische Objekte	24
5	Fehler beim Drucken mit dem Ultimaker 2	25
5.1	Hardware-Defekte	25
5.1.1	Verschleiß der PTFE-Kopplung	25
5.1.2	tempsensor	26
5.1.3	Reibung in Bowdenzug	26
5.1.4	Gebogene Heizplatte	26
5.1.5	Verschmutzte Düse	26
5.1.6	Bollen an Heizblock(total destruction)	27
5.2	Olsson-Block	27
5.3	Mangelnde Haftung des Objekts auf der Druckplatte	27
5.4	Stringing	28
5.5	zu wenig Material	29
5.6	grinding	29
5.7	undersch. Druckergebnisse je nach Druckposition	29
5.8	keine Haftung der Linien auf anderen Linien	30
5.9	schlechte Kalibrierung	30
5.10	undersch. Filamente, untersch. Eigenschaften	30
5.11	Spannung Feeder	30
5.12	Anpressdruck im Feeder	31
5.13	Knoten im Filament	31
5.14	Ungeeignete oder falsche Parameter in Cura gewählt	31
5.14.1	Ungeeignete Supportstrukturen	31
5.14.2	Geschwindigkeit	32
5.14.3	Wanddicke	32
5.14.4	Temperatur	32
6	Zusammenfassung und Ausblick	33
7	Literaturverzeichnis	34

Abkürzungsverzeichnis

3D dreidimensional

ABS Acrylnitril-Butadien-Styrol

CAD Computer-Aided Design

DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

PLA Polyactid

SMD Surface Mounted Device

STL Stereolithography

USB Universal Serial Bus

UV Ultraviolett

zb zum BSP

1 Einleitung

Bei herkömmlichen Verfahren, um Objekte aus Grundstoffen wie beispielsweise Metallen, Kunststoffen oder Harzen anzufertigen, werden diese oft subtraktiv aus einem großen Block des Grundstoff herausgearbeitet. Dies kann beispielsweise durch Fräsen erfolgen.

Neben diesen Verfahren gibt es auch die sogenannten additiven Verfahren, bei denen ein Objekt nach und nach (meist schichtweise) aus dem Grundstoff hergestellt wird. Die Vorteile dieser Verfahren sind unter anderem, dass weniger Material verbraucht wird und auch komplexere Formen relativ einfach realisiert werden können.

Einige dieser Verfahren werden in der Industrie bereits verwendet, beispielsweise um medizinische Implantate herzustellen.

Ein großes Anwendungsgebiet liegt im Bereich des Rapid Prototyping. Dabei geht es darum, möglichst schnell Prototypen herzustellen, beispielsweise um die Eignung eines Designs für das spätere Serienprodukt zu erforschen. Da hier nur geringe Stückzahlen benötigt werden und möglichst keine komplizierten Serienwerkzeuge hergestellt werden sollen, eignen sich additive Verfahren gut für diese Anwendung.

In den letzten Jahren wird zunehmend auch der Endkundenmarkt erschlossen. Sogenannte 3D-Drucker, die in der Regel auf dem Extrusionsverfahren basieren, werden inzwischen zu erschwinglichen Preisen angeboten.

Im letzten Jahr hat die Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) einen solchen 3D-Drucker, den Ultimaker 2, angeschafft. In einer vorigen Studienarbeit wurde dieser in Betrieb genommen und erste Objekte gedruckt.

Diese Studienarbeit befasst sich mit dem Designen von Objekten und dem anschließenden Drucken mit dem Ultimaker 2.

Das Ziel dieser Studienarbeit ist es, mithilfe verschiedener Programme ein technisches und ein organisches Objekt zu erstellen. Anschließend sollen diese mit dem Ultimaker 2 gedruckt werden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen auf einer bereits existierenden Website über den 3D-Drucker dokumentiert werden.

Dieser Bericht wird zunächst einen Überblick über verschiedene verbreitete additive Verfahren geben. Anschließend werden der Ultimaker 2, die dazugehörige Toolchain sowie die verwendeten CAD-Programme näher erläutert.

Basierend auf diesen Grundlagen wird dann im Hauptteil des Berichts die Erstellung des technischen und organischen Objekts näher beschrieben.

2 Stand der Technik & technische Grundlagen

2.1 Drucktechniken

Dreidimensionale Objekte können mit verschiedenen Verfahren gedruckt werden. Viele werden bereits seit Langem eingesetzt. Die Technologie war folglich schon verfügbar. In den letzten Jahren erreichen die Drucker den Endkundenmarkt. Grund dafür sind eine Vielzahl von günstigen Druckern, die auf dem Markt erhältlich sind. Im Folgenden sind verschiedene Druckverfahren erläutert.

2.1.1 Schmelzschichtverfahren

Das verflüssigte Material wird durch eine Düse, den Extruder, auf eine Druckfläche gepresst. Dort härtet es aus. Durch Bewegen des Druckkopfes über die Druckfläche lässt sich Schicht für Schicht ein Objekt auftragen.

2.1.2 Stereolithographie

Das dreidimensionale Äquivalent zum Rasterdruck baut Objekte aus Schichten von Rasterpunkten auf.

Manche organischen Verbindungen können mittels Ultravioletts (UV)- Licht polymerisiert werden. Dadurch wird aus einem flüssigen Grundstoff ein fester Körper. Dieser Vorgang wird als Photopolymerisation bezeichnet und dient als Grundlage für verschiedene 3D- Druckverfahren.

Für jede Schicht kann eine Photomaske erzeugt werden. Der flüssige Grundstoff wird durch die Maske hindurch von einer UV- Quelle angestrahlt. Dadurch härtet eine Schicht des Grundmaterials entsprechend der Photomaske aus. Die erste Schicht wird auf eine Bodenplatte gedruckt. Diese wird nach Abschließen jeder Schicht weiter in die Flüssigkeit abgesenkt. Dadurch wird die nächste Schicht auf die darunterliegende gedruckt.

Alternativ zur Photomaske mit gleichmäßiger Quelle kann auch ein UV- Laser ver-

wendet werden, der über Spiegel an die auszuhärtenden Rasterpunkte gelenkt wird.

Das erzeugte Objekt wird im Druckverfahren nicht vollständig ausgehärtet. Daher muss es im Anschluss mit UV- Licht nachbehandelt werden. [4, S.3]

2.1.3 Sintern

Sintern beschreibt den Prozess des Verdichtens pulverförmiger Ausgangsstoffe zu einem festen Material. Hierzu kann das Material über den Schmelzpunkt erhitzt werden oder durch hohe Drücke dazu verleitet werden, dass sich die Oberflächen der einzelnen Pulverkörner verbinden. Für den 3D- Druck relevant sind Verfahren, die ein selektives Verbinden der Körner ermöglichen. [2, Bd.20, S.7037]

Ein Verfahren, das dies ermöglicht, ist das Elektronenstrahlschmelzen. Hierbei wird schichtweise das Pulver des Ausgangsmaterials selektiv mit einem Elektronenstrahl geschmolzen. Nach Fertigstellung einer Schicht wird eine weitere Schicht Pulver aufgetragen, die erneut selektiv geschmolzen werden kann. Dadurch können 3D Objekte erzeugt werden. Momentan sind Objekte aus mehreren Titanlegierungen mit diesem Verfahren möglich. Zudem wird an der Eignung von Stahl, verschiedenen Metallen und deren Legierungen geforscht. [6]

Alternativ zum Elektronenstrahl kann auch ein Laser zum Verschweißen des Pulvers eingesetzt werden. Mit diesem Verfahren können auch Kunststoffe verarbeitet werden. [3]

2.1.4 Binder-Verfahren

Im Binderverfahren wird ein Bindemittel in ein pulverförmiges Ausgangsmaterial eingespritzt. Durch selektives Einbringen des Binders können die gewünschten Strukturen erzeugt werden. [4, S.11]

2.1.5 Schicht-Laminat-Verfahren

In jeder Schicht wird ein Metallblech mit einem Laser in Form geschnitten. Die fertigen Schichten werden verpresst, verklebt oder versintert. Dadurch entsteht ein geschichtetes Objekt, dessen Eigenschaften sich in Faserrichtung von denen gegen Faserrichtung unterscheiden.

2.2 Materialien

Die verschiedenen Druckverfahren erfordern unterschiedliche Grundstoffe für das Drucken. Dieser Abschnitt stellt verschiedene Materialien vor.

2.2.1 Metalle und deren Legierungen

Pulver verschiedener Metalle und Legierungen lassen sich sintern. Bleche können im Schicht-Lamitat-Verfahren 2.1.5 zu einem festen Objekt geformt werden. Im Allgemeinen lassen sich aus Metall per 3D-Druck mechanisch und thermisch belastbare Prototypen erstellen.

2.2.2 Monomere

Im Stereolithographie-Verfahren 2.1.2 werden Monomere selektiv polymerisiert. Monomere sind Moleküle, die mit gleichartigen Molekülen zu größeren Molekülen verschmelzen können. Durch Polymerisation entsteht ein fester Körper aus langkettigen Molekülen. [1]

2.2.3 Thermoplaste

Bereits polymerisierte Kunststoffe unterscheiden sich in der Reaktion auf hohe Temperaturen. Eine dieser Gruppen von Polymeren sind die Thermoplaste. Diese Kunststoffe verflüssigen sich bei Temperatureinwirkung und erstarren beim anschließenden Auskühlen in einer neuen Form. Wenn die Temperatur zu hoch ist, verschmoren Thermoplaste. Daher muss beim Drucken eine Temperatur gefunden werden, die das Material in eine verwendbare Liquidität versetzt, allerdings das Material nicht beschädigt. Bekannte Thermoplaste sind Polyactid (PLA) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS). Ebenfalls lässt sich Schokolade drucken, die ebenfalls zu den Thermoplasten zugeordnet werden kann. Beim Drucken mit ABS entstehen giftige Dämpfe. Die Menge an ausgeschiedenem Gas ist bei korrekter Druckertemperatur-Einstellung unbedenklich, allerdings sollte der Druckraum trotzdem gut ventiliert werden.

Im Gegensatz zu den Thermoplasten verflüssigen sich Duroplaste nicht; sie verschmoren direkt, wenn die Temperatur zu hoch wird. Dadurch eignen sie sich nicht für das Extrusionsverfahren.

2.3 Stabilitätsanalyse

In diesem Kapitel wird betrachtet, wie stabil die Objekte sind, die mit den in 2.1 vorgestellten Verfahren hergestellt werden.

2.3.1 Schmelzschichtverfahren

Im Extrusionsverfahren hergestellte Objekte sind mechanisch und thermisch belastbarer als Objekte, die mit Stereolithografie erstellt wurden. [4, S.10]

Es kann allerdings vorkommen, dass manche Bereiche eines Objekts weniger stabil sind als andere Bereiche. [5]

2.3.2 Stereolithographie

Objekte, die mit Stereolithografie hergestellt werden, sind mechanisch und thermisch weniger belastbar als Objekte, die beispielsweise mit Lasersintern oder im Extrusionsverfahren hergestellt wurden. [4, S.4]

Zudem ist unklar, ob diese Objekte stabil genug für einen Dauereinsatz sind. [5]

2.3.3 Elektronenstrahlschmelzen

2.3.4 Lasersintering

Mit diesem Verfahren können sowohl Metalle als auch Kunststoffe verarbeitet werden. Die dabei produzierten Teile können ähnliche Eigenschaften wie mit herkömmlichen Methoden produzierte Teile aufweisen.

Allerdings sind gesinterte Teile porös, was jedoch bei manchen Anwendungsfällen erwünscht sein kann. Die Porosität kann abgeschwächt werden, indem das Pulver mit anderen Materialien versetzt wird. [5]

2.3.5 Binder-Verfahren

Bei diesem Verfahren ist es schwer, eine Aussage über die Eigenschaften des entstehenden Materials zu treffen, da es sich aus Pulver, Bindemittel und dem zur Nachbehandlung genutzten Harz zusammensetzt.

Sofern als Pulver kein Metall, sondern Gips oder Stärke verwendet werden, hält das Objekt

keinen starken Belastungen stand. [4, S.12]

2.3.6 Schicht-Laminat-Verfahren

Da bei diesem Verfahren die Objekte aus verschiedenen Schichten aufgebaut sind, die miteinander verpresst oder verklebt wurden, weisen diese Objekte richtungsabhängig verschiedene Eigenschaften auf. [4, S.8]

Zudem wird bei diesem Verfahren oft Papier als Material verwendet. Naturgemäß ist Papier nicht lange haltbar. [5, S.35]

2.4 Computer-Aided Design (CAD)

Der 3D-Druck basiert zum großen Teil auf dem computergestützten Design von Objekten. CAD-Tools helfen beim Entwerfen. Anschließend werden die Objektdateien mithilfe von Slicern in maschinenlesbaren Code umgewandelt. Die Unterkapitel stellen die verwendeten Programme vor.

2.4.1 CAD-Programme

Für das Design von 3D-Dateien gibt es vielerlei Programme. Auf kostenloser Basis wurden in dieser Arbeit Solid Edge und blender verwendet.

Solid Edge

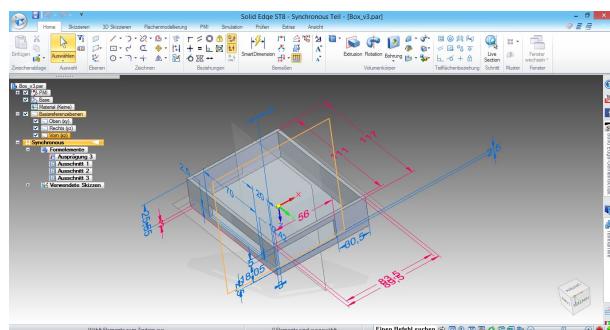


Abbildung 2.1: Screenshot des Programms blender der entwickelten Objekte.

Solid Edge von Siemens eignet sich für das Entwerfen von technischen Objekten. Hierbei bietet das Programm eine Vielzahl von Funktionen für die Erstellung von 2D- und 3D-Formen. Für einfache Objekte kann eine 2D-Grundform gezeichnet und anschließend zu einem 3D-Objekt extrahiert werden. Zusätzliche Funktionen von Solid Edge unterstützen bei der Stabilitätsanalyse

Die Entwicklung der Objekte kann entweder auf sequenzieller Basis oder auf paralleler Basis geschehen. Die sequenzielle Entwicklung erfordert ein hohes Maß an Programmkenntnis, da die einzelnen Schritte der Objekterstellung nur in einem definierten Ablauf stattfinden kann. Der parallele Entwicklungsstack erleichtert die nachträgliche Veränderung von Arbeitsschritten wie zum Beispiel die Maße, die während einer Extraktion angegeben wurden. Zusätzlich können bei paralleler Entwicklung die Renderzeiten bei Maßänderungen deutlich reduziert werden. Das zahlt sich bei umfangreichen Objekten aus.

Für die Arbeit wurde die akademische Lizenz verwendet. Objekte, die mit dieser Lizenz erstellt wurden, können nicht mit einer anderen Lizenz geöffnet werden.

blender

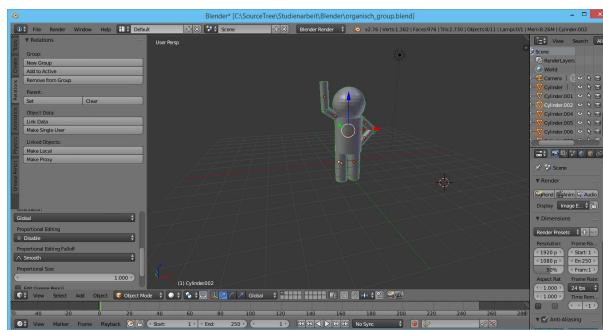


Abbildung 2.2: Screenshot des Programms blender

Abbildung 2.2 zeigt den 3D-Modellierer Blender. In der Mitte befindet sich der 3D-View, wo ein Modell eines menschlichen Arms dargestellt ist. Links im Bildschirm befindet sich das Outliner-Panels, das verschiedene 3D-Objekte und Kameramodelle aufgelistet. Rechts befindet sich das Properties-Panels, das spezifische Einstellungen für das ausgewählte Objekt ermöglicht.

Blender ist ein Open Source Programm, das eine Vielzahl von Computergrafik-Anwendungen bietet. Diese reichen von der Erstellung von Objekten bis hin zum Filmschnitt.

Die CAD-Funktionen zielen vor allem auf die Animation einzelner Objekte ab. Zum Beispiel kann die Beweglichkeit der Finger mit Regeln definiert werden. Das Objekt-Design unterliegt der Manipulation von Basis-Objekten, die dann anschließend zu einem Objekt vereinigt werden.

2.4.2 Slicing

Das Slicing ist der Prozess zur Umwandlung eines 3D-Objekts in für den Drucker eindeutige Befehle. Da jeder Drucker unterschiedliche Randbedingungen bietet, empfiehlt der jeweilige Hersteller ein für den Drucker geeignetes Programm zum Slicen.

Der 3D-Drucker Ultimaker 2 erhält seine Dateien vom Ultimaker eigenen Programm Cura. Alternativ kann das Programm Repetierhost verwendet werden.

Cura

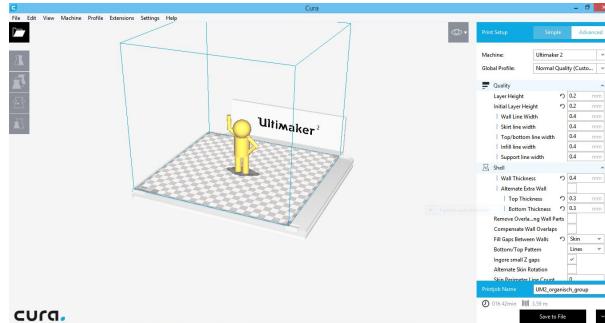


Abbildung 2.3: Screenshot des Programms Cura.

Einstellungsmöglichkeit der Drucktemperatur. Der Befehl ist im G-code vorgesehen, allerdings nicht beeinflussbar.

Repetierhost

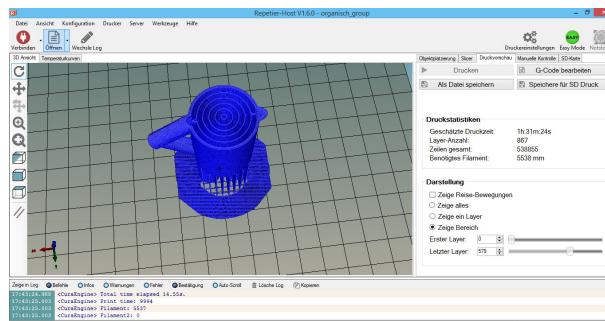


Abbildung 2.4: Screenshot des Programms Repetierhost.

Mit Cura kann man aus Objektdateien im STL-Format G-code für den Ultimaker erstellen. Das Programm erlaubt die Variation zahlreicher Parameter, die den Druck beeinflussen. Die verwendete Programmversion beeinflusst die Ergebnisse des Slicers deutlich. Viele Druckoptionen sind erst mit neueren Versionen möglich. Eine wichtige fehlende Funktion von Cura ist eine

Einstellungsmöglichkeit der Drucktemperatur. Der Befehl ist im G-code vorgesehen, allerdings nicht beeinflussbar.

Repetierhost ist ein alternatives Programm zur Fernsteuerung von 3D-Druckern. Es visualisiert Druckdateien im STL- und im G-code-Format. Zudem enthält es einen Slicer, mit dem man selbigen erzeugen kann.

Cura liefert mitunter fehlerhaften G-code, in dem Löcher klaffen oder Schichten fehlen. Mithilfe des Repetierhosts können diese Fehler entdeckt werden.

2.4.3 Dateiformate

Für die Darstellung von 3D-Objekten können verschiedene Datentypen verwendet werden. Essenziell für den 3D-Druck mit dem Ultimaker sind die Dateitypen STL und der G-code.

Stereolithography (STL)

Eine STL-Datei ist eine Oberflächendefinition für ein 3D-Objekt. Hierfür werden die dreieckigen orientierten Facetten über ihre Eckpunkte in einem kartesischen Koordinatensystem abgespeichert. Die Dimensionierung(z.B. Zentimeter oder Inch) wird nicht mit

abgespeichert und muss vom lesenden Programm eingestellt werden.

Da das STL-Format eine einfache Objektbeschreibung ist, kann es als universelle Schnittstelle zwischen CAD-Designprogrammen und Slicern verwendet werden. Allerdings gehen Zusatzinformationen wie unterschiedlich eingestellte Drucktemperaturen oder Druckfarben verloren. Daher eignet sich das Format nur zur Übergabe von einfachen Formeigenschaften.

G-code

Aus der Welt der Fräsen kommend ist der G-code eine Sprache, mit der Maschinen Positionierungs- und Arbeitsanweisungen erhalten können.

Derivate dieser Sprache wurden um die Funktionen zur Steuerung eines 3D-Druckers erweitert. Mithilfe der neuen Befehle können zum Beispiel die Drucktemperatur oder die Lüfter angesteuert werden.

2.5 ZTemperaturtestdrcuk

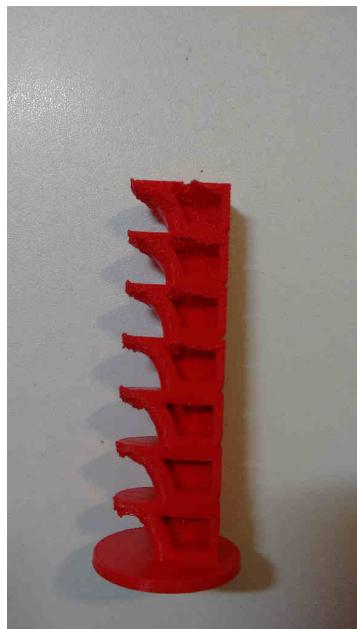


Abbildung 2.5: Temperaturtestdruck

bfuesg

busp



buepsgb bsueb

Abbildung 2.6: asdf

2.6 Der 3D-Drucker Ultimaker 2

...

3 Entwicklung eines technischen Objekts

Dieses Kapitel handelt vom Entwurf und Druck eines technischen Objekts. Ein technisches Objekt wird dabei als ein Objekt definiert, das entwickelt wurde, um einen bestimmten technischen Zweck zu erfüllen und in erster Linie funktional sein soll. Eine ansprechende oder dekorative Optik des Objekts ist deshalb unwichtig oder zumindest zweitrangig. Wichtig ist es hingegen, dass ein solches Objekt möglichst einfach zu produzieren ist. Solche Objekte besitzen beispielsweise meist glatte Oberflächen, da diese wesentlich einfacher und genauer zu produzieren sind als gewölbte Oberflächen. Zudem muss das Objekt fest definierte Maße haben.

Bei der Produktion eines technischen Objekts ist es wichtig, dass diese Maße mit möglichst geringen Toleranzen eingehalten werden. Wird mehrfach dasselbe Objekt mit denselben Werkzeugen und Prozessen hergestellt, sollten die Ergebnisse vergleichbar sein.

Für die Studienarbeit wird als technisches Objekt exemplarisch ein Aufbewahrungssystem für einen Raspberry Pi gekoppelt mit einem Universal Serial Bus (USB)- Hub und einer externen Festplatte entworfen. Dieses System soll möglichst kompakt und als ein Block transportierbar sein.

Diese Arbeit bezieht sich häufig auf den Ultimaker 2, der im vorhergehenden Kapitel 2.6 vorgestellt wird. In der Arbeit mit einem anderen Drucker können sich Vorgehensweise und Ergebnis deutlich unterscheiden.

Zuerst wird die Analyse der bestehenden Verwahrung beschrieben. Anschließend folgt eine Beschreibung des umzusetzenden Konzepts für das neue Aufbewahrungssystem, das während der Studienarbeit gedruckt werden soll. Folgend wird ein Entwurf des Systems mit einem CAD-Programm und der Druck des Objekts beschrieben. Der darauffolgende Abschnitt beschäftigt sich mit während dem Druck aufgetretenen Fehlern. Zuletzt folgt ein Fazit über die Eignung des Ultimaker 2 zum Drucken von technischen Objekten.



(a) Bemaßung des Raspberry Pis (b) Bemaßung des USB-Hubs (c) Bemaßung der externen Festplatte

Abbildung 3.2: Bemaßung der einzufassenden Objekte

3.1 Ist-Analyse

Zu entwerfen ist eine Verwahrung für einen Heimserver auf einem Raspberry Pi(folgend als Pi bezeichnet) mit angeschlossener externer Festplatte. Der Pi selbst liefert an seinen USB-Ports nicht genug Leistung zum Betreiben der Festplatte, weshalb ein zusätzlicher powered USB-Hub nötig ist.



Abbildung 3.1: Ursprüngliches Stapelsystem

Zu Beginn der Entwicklung wurde das System durch zu einem Käfig verschraubten Lochblechen zusammengehalten, die Festplatte und Hub umfassten. Abbildung 3.1 Insbesondere der Pi war im alten System nur unzureichend fixiert, da er nur auf den Käfig aufgesetzt war. Eine Hauptanforderung an das neue System soll das sichere Lagern aller Komponenten sein.

Die zweite Anforderung ist die Portabilität des Systems. Um den Server sicher und einfach bewegen zu können, soll das System als Ganzes stabil zu einer Einheit verbindbar sein. Das bisherige System sollte die Portabilität ermöglichen, war jedoch aufgrund der oben genannten Instabilität nicht dazu in der Lage.

Die Ausmaße der zu verstauenden Objekte sind folgend aufgeführt.

Zusätzlich zu diesen Maßen kommen beim Pi noch die Positionen der Schraub-Bohrungen und die Höhe der unter dem Pi herausragenden Lötpunkte und Surface Mounted Device (SMD)-Bauteile hinzu. Die frei zugänglichen Leiterbahnen müssen in der Verwahrung genug Abstand zu anderen Bauteilen haben, da sie sonst beschädigt werden könnten.

Eine Eigenschaft des bisherigen Systems mit den Lochblechen soll für das neue Verwahrungs-System soll übernommen werden. Die Platzierung der Komponenten übereinander ist sehr platzsparend. Zudem kann das System dadurch gut transportiert werden.

3.2 Konzept: Modulare Boxen

Als Ersatz für den oben beschriebenen Rahmen soll ein modulares Stapsystem dienen. Auf einer massiven Grundplatte werden Boxen gestapelt. Jede Box beinhaltet eine Komponente (Box, Hub oder Festplatte). Die Außenmaße der Grundflächen der Boxen sind in Breite und Länge immer gleich. Die Grundfläche wird durch die größte zu befestigende Komponente, hier also die Festplatte, bestimmt. Der Innenraum einer Box ist an die jeweilige Komponente angepasst. Abhängig von der Komponente sind verschiedene Aussparungen in den Seitenwänden der Boxen, durch die Kabel geführt werden können. Im Aufbewahrungssystem werden die Boxen auf der Grundplatte gestapelt.

Zwischen die Boxen werden Rahmen gelegt, die die Box zwischen Gewindestangen fixieren. Diese sind in der Grundplatte festgeschraubt. Dadurch ist das Stapsystem im Ganzen stabilisiert und kann problemlos transportiert werden.

Das System ist zudem einfach um neue Komponenten erweiterbar, sofern diese von der Grundfläche her nicht größer sind als die Grundfläche der Boxen. Für neue Komponenten kann eine eigene Box mit den passenden Außenmaßen und angepasstem Innenraum und Höhe entwickelt werden. Diese Box kann dann wie beschrieben mit Rahmen am System befestigt werden.

3.3 Entwurf

Das Konzept soll für die vorhandenen Komponenten umgesetzt werden. Die zu druckenden Objekte werden mit dem CAD-System Solid Edge entworfen.

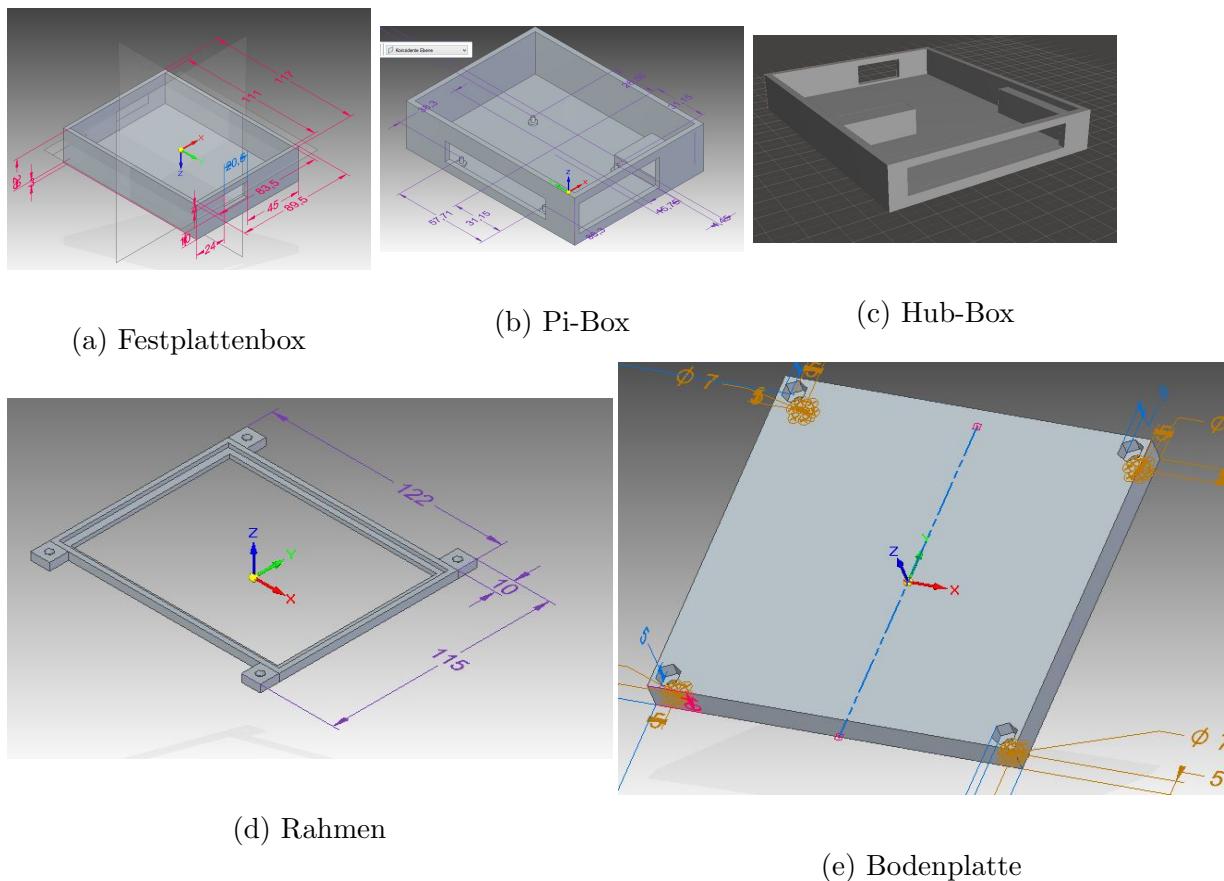


Abbildung 3.3: Entwurf der Objekte

Als erster Schritt wurden die Maße von Festplatte, USB-Hub und Raspberry Pi genommen.

Die Maße definieren die Innengestaltung der jeweiligen Box. Die Grundfläche ist durch die größte Box definiert, während die Höhe der einzelnen Boxen pro Komponente festlegbar ist. Folgend werden die Designs der einzelnen Komponenten vorgestellt.

Die Festplatten-Box als einfachste und größte Komponente des Systems definiert die Außenmaße und Form der quaderförmigen Boxen. An der Position der Schnittstelle ist ein Ausschnitt in Größe der Steckverbindung aus der Wand geschnitten. Da die Box einem großen Gewicht standhalten muss, wurde eine Wandstärke von 3mm gewählt. Abbildung 3.3a zeigt den Entwurf der Box.

Da der USB-Hub kleiner ist als die Festplatte, muss er auf der Grundfläche der Box in Breite und Tiefe fixiert werden. Hierfür werden seitlich und hinter den Hub Blöcke gesetzt, die den Hub an der gewünschten Position fixieren. Die Wand der Box ist wie bei der Festplattenbox auf Höhe der Schnittstellen eingeschnitten. Zusätzlich hat die Box

einen Ausschnitt auf der Rückseite der Box, durch die Stromzufuhr und Anschlusskabel für den Raspberry Pi hinausgeführt werden können. Die Box ist in Abbildung 3.3c dargestellt.

Eine Box für den Raspberry Pi fordert einen größeren Design-Aufwand als die vorhergehenden. Auf der Unterseite benötigt der Pi Abstand zum Boden aufgrund seiner Lötpunkte und SMD-Bauteile. Daher wird er auf Säulen gesetzt, die den Pi in seinen Schraub-Bohrungen fixieren. Die zusätzliche Höhe, die hierbei entsteht, muss bei den Ausschnitten der Schnittstellen miteinbezogen werden. Damit alle Schnittstellen erreichbar sind, ist der Pi in die Ecke der Box platziert. In Abbildung 3.3b ist die Pi-Box dargestellt.

Um die Boxen gegen Verrutschen zu sichern, sind zwischen ihnen Rahmen platziert, die Einschnitte in Größe der Box-Grundfläche haben. Zusätzlich sind an jedem Rahmen vier runde Durchführungen angebracht, mit denen sie auf einer Gewindestange eingefädelt werden können. Das vollständige System kann dann durch vier M4-Muttern fixiert werden. Die Rahmen sind in der Fläche nicht gefüllt; die Stabilität ist schon durch die eingeschossenen Boxen gegeben. Abbildung 3.3d zeigt den Entwurf des Rahmens.

Die Bodenplatte bietet ein Grundgerüst des Systems. Da die Gewindestangen außerhalb der Boxen durch die Durchführungen der Rahmen verlaufen, ist sie um die Größe der Durchführungen breiter und länger als die Boxen. An selber Position wie diese Durchgänge hat auch die Bodenplatte Durchführungen. Zusätzlich sind auf der Unterseite Einschnitte für M4-Muttern. Dadurch können die Gewindestangen durch die Bodenplatte geführt und an der Unterseite der Bodenplatte festgeschraubt werden. Der Entwurf der Bodenplatte ist in Abbildung 3.3e dargestellt.

3.4 Druck des Objekts

Beim Drucken der Komponenten ergab sich, dass manche Maße zu gering gewählt waren. Beispielsweise die Spaltmaße zwischen Deckel und Box mussten angepasst und neu gedruckt werden. Zusätzlich entstanden dank fehlerhaftem Verhalten des Druckers viele Fehldrucke, was wiederum Wartungen erzwang.

An den ersten zwei Schichten ließ sich ein fehlerhafter Druck meist frühzeitig erkennen. Die zu beobachtenden Fehlverhalten sind im Kapitel Fehler aufgeführt.

3.5 Fazit: Eignung für technische Objekte

Wie bereits eingangs erwähnt, wurde für diese Studienarbeit der Ultimaker 2 verwendet. Deshalb kann in diesem Fazit auch nur betrachtet werden, inwiefern sich dieser Drucker eignet, um technische Objekte zu erstellen.

3.5.1 Material

Als Plastik wurde PLA verwendet. Bei den Drucken fiel auf, dass die Materialeigenschaften, abhängig von der verwendeten Farbe, teilweise deutlich unterschiedlich waren. Am besten gelangen die Drucke mit rotem Filament. Schwarzes Filament dagegen war sehr spröde. Bei durchsichtigem Filament hielten die verschiedenen Linien nicht so stark zusammen wie beispielsweise bei rotem, was insbesondere bei konzentrischen Mustern zu einer Instabilität führte.

Für das Aufbewahrungssystem wurde deshalb vor allem rotes Filament genutzt. Allgemein sollte man beim Ultimaker 2 also vor dem Druck eines größeren Objekts testen, welche Farbe die besten Eigenschaften aufweist.

Die Boxen des Aufbewahrungssystems wurden mit Wand- und Bodendicken von 3mm angefertigt, die Bodenplatte des Systems mit einer noch höheren Bodendicke. Dadurch war das System stabil genug, um hochgehalten zu werden.

3.5.2 Liniendicke

Zu dem Zeitpunkt, zu dem das technische Objekt gedruckt wurde, stand nur eine Nozzle der Größe 0.4mm zur Verfügung. Dadurch ist die minimale Breite einer Linie festgelegt. Für das Aufbewahrungssystems mussten keine Strukturen, die feiner als 0.4mm sind, gedruckt werden. Für dieses Objekt war die Genauigkeit also hoch genug. Müssen dagegen Objekte mit feineren Strukturen gedruckt werden, kann es sein, dass der Ultimaker 2 nicht die nötige Genauigkeit besitzt.

Eine Abhilfe stellt der Olsson Block dar. Dabei handelt es sich um ein Upgrade des Heizblocks, das für den Ultimaker 2 erworben werden kann. Dieses Upgrade ermöglicht es, die Druckdüsen relativ einfach auszutauschen. Im Upgrade sind vier verschiedene Düsen enthalten, die zwischen 0.25 und 0.8mm dick sind. Trotz allem bleibt die minimale

Dicke einer Linie also auf 0.25mm begrenzt.

3.5.3 Höhe

Um zu testen, wie präzise der Ultimaker 2 die gewünschte Höhe von Objekten drucken kann, wurde ein einfaches Testobjekt gedruckt. Dieses Testobjekt war ein Quader, dessen Maße 10x10x1mm waren. Nach dem Druck wurde die tatsächliche Höhe des gedruckten Objekts mit einer Schieblehre gemessen. Das gedruckte Objekt war jedoch nur 0.8mm hoch.

Für das Aufbewahrungssystem war diese Genauigkeit ausreichend. Da technische Objekte jedoch mit minimalen Abweichungen angefertigt werden sollten, ist diese Abweichung an sich zu deutlich. Sie zeigt, dass der Ultimaker 2 nicht die notwendige Präzision liefern kann, die für technische Objekte oft notwendig ist.

4 Entwicklung eines organischen Objekts

Das Ziel dieser Studienarbeit ist es, zwei unterschiedliche Objekte zu designen und zu drucken. Im vorherigen Kapitel 3 wird die Entwicklung eines technischen Objekts beschrieben. Bei einem technischen Objekt sind die Ansprüche an genaue Bemaßungen hoch, das Objekt selbst sollte so einfach wie möglich gestaltet sein. Dadurch besteht es oft aus einfachen geometrischen Formen. Allgemein liegt der Fokus auf der Funktionalität des Objekts. Um technische Objekte zu designen, wird in der Regel eine CAD-Software verwendet.

In diesem Kapitel wird eine andere Art eines Objekts beschrieben: Das organische Objekt. Im Gegensatz zu einem technischen Objekt steht hier nicht die reine Funktionalität im Vordergrund. Organische Objekte sind Objekte, die in der Natur vorkommen und nicht künstlich vom Menschen gefertigt wurden, beispielsweise Lebewesen oder Pflanzen. In der Regel besitzen diese Objekte kaum Ecken, Kanten oder gerade Flächen.

Im Folgenden werden das Design und der Druck eines solchen Objekts beschrieben, im Anschluss folgt ein Fazit über die generelle Eignung des Ultimaker 2 für den Druck organischer Objekte. Wie bereits im vorigen Kapitel bezieht sich diese Arbeit häufig auf den Ultimaker 2, der im Kapitel 2.6 vorgestellt wird. In der Arbeit mit einem anderen Drucker können sich Vorgehensweise und Ergebnis deutlich unterscheiden.

4.1 Konzept

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, soll das organische Objekt runde, gewölbte Flächen aufweisen. Für diese Studienarbeit wurde ein dreidimensionales Strichmännchen als Objekt gewählt. Dieses kann unter Verwendung mehrerer Zylinder und Kugeln modelliert werden und enthält somit einige gewölbte Flächen. Der Kopf des Strichmännchens wird als Kugel modelliert, der restliche Körper besteht aus sieben Zylindern. Einer davon dient als Körper und je ein Zylinder wird verwendet, um ein Bein zu modellieren. Die Arme werden mit je zwei Zylindern modelliert. Dadurch kann ein Ellbogengelenk simuliert werden und abwechslungsreiche Armhaltungen werden möglich.

4.2 Entwurf

Das im vorigen Abschnitt beschriebene dreidimensionale Strichmännchen wurde mithilfe der Software blender modelliert. Zusammengesetzt ist es aus Zylindern für die Arme, Beine und den Rumpf, wie im vorherigen Abschnitt 4.1 beschrieben.

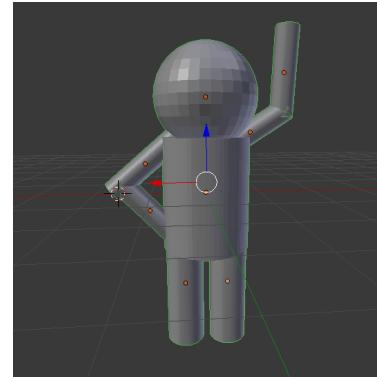


Abbildung 4.1: Design des organischen Objekts

FIGURE NOCH JCIHT DRIN

4.3 Druck des Objekts

Das Objekt wird in zwei verschiedenen Positionen gedruckt. Einmal wird das Männchen liegend auf der Druckplatte positioniert, einmal stehend. Auffällig ist, dass beim liegenden (?) Männchen die Kugel, die den Kopf darstellt, eine starke Kante in der Mitte aufweist. Beim stehenden Männchen gelingt die Kugel besser.



Abbildung 4.2:
Liegender Druck
des organischen
Objekts



Abbildung 4.3:
Druck des stehenden
organischen
Objekts

4.4 Fazit: Eignung für organische Objekte

5 Fehler beim Drucken mit dem Ultimaker 2

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über Fehler, die beim Drucken mit dem Ultimaker 2 auftreten können. Zudem werden die Fehlerursachen und mögliche Gegenmaßnahmen erläutert. Da es viele mögliche Fehlerquellen gibt, gestaltet sich die Fehlersuche oft schwer. Teilweise beeinflussen sich die Fehler auch gegenseitig oder es gibt mehrere Fehlerquellen, die dasselbe Fehlverhalten verursachen können.

5.1 Hardware-Defekte

5.1.1 Verschleiß der PTFE-Kopplung

In 2.6 wird der Aufbau des Extruders genauer beschrieben. Die Düse ist zwar aus Metall gefertigt, aber das Filament gelangt durch eine **PTFE!** (**PTFE!**)-Kopplung in die Düse. Dadurch, dass die Kopplung in der Nähe des Heizblocks sitzt, wird sie beim Drucken ebenfalls erhitzt. Das führt dazu, dass die Kopplung sich relativ schnell verformt und zudem an den Stellen, wo sie die Düse oder das Filament berührt, verbrennt.



Die Verformung führt dazu, dass das Filament nicht mehr ungehindert durch die Kopplung in die Düse gelangen kann. Wegen dem erhöhten Widerstand wird teilweise zu wenig Filament gefördert und der Druck misslingt.

Deshalb sollte die **PTFE!**-Kopplung regelmäßig ausgetauscht werden.

Abbildung 5.1: Ausgebauter PTFE-Kopplung

5.1.2 tempsensor

5.1.3 Reibung in Bowdenzug

Der Bowdenzug, über den das Filament vom Feeder zum Druckkopf befördert wird, besitzt eine gewisse Reibung. Wenn diese Reibung zu stark ist, kann es passieren, dass das Filament vom Feeder nicht gut gefördert werden kann, da dieser zu viel Kraft aufbringen muss. Dadurch gelangt zu wenig Filament zum Druckkopf.

Die Höhe des Widerstands hängt dabei unter anderem davon ab, an welcher Position das Objekt gedruckt wird. Je nachdem, wo sich der Druckkopf befindet, wird der Bowdenzug unterschiedlich stark gekrümmmt. Dadurch herrscht an manchen Positionen eine größere Reibung im Bowdenzug, die das Filament überwinden muss.

5.1.4 Gebogene Heizplatte

Die Glasplatte, auf der die Objekt gedruckt werden, liegt auf einer metallenen Platte auf, über die sie erhitzt wird. Die Glasplatte ist jedoch nicht perfekt gerade gefertigt, sondern ist stellenweise relativ stark durchgebogen. Dadurch liegt sie nicht gleichmäßig auf der Metallplatte auf.

Auffällig ist, dass eine Seite der Glasplatte besser aufliegt als die andere. Wird die Glasplatte mit der schlechter aufliegenden Seite auf die Metallplatte gelegt, wird sie durch den mangelnden Kontakt zur Metallplatte stellenweise deutlich schlechter erhitzt. Dadurch haftet das Objekt an diesen Stellen nicht an der Glasplatte.

5.1.5 Verschmutzte Düse

Sowohl innerhalb als auch außerhalb der Düse können Filamentrückstände von früheren Drucken verbleiben.

In der Düse können beispielsweise Reste von verbranntem Filament verbleiben. Diese Rückstände behindern den Materialfluss und können dazu führen, dass zu wenig Filament durch die Düse gelangt. Als Gegenmaßnahme kann man mit einer dünnen Nadel in die aufgeheizte Düse stechen.

An den äußersten Rückständen kann sich das Filament des nächsten Drucks verfangen. Dadurch wird es nicht mehr ordentlich auf der Druckplatte ausgebracht und der Druck misslingt.

5.1.6 Bollen an Heizblock(total destruction)

5.2 Olsson-Block

5.3 Mangelnde Haftung des Objekts auf der Druckplatte

Im Idealfall haftet die unterste Schicht des Filaments fest auf der beheizten Druckplatte, um den höheren Schichten einen guten Halt zu geben. Um das zu erreichen, wird die unterste Schicht meistens langsamer gedruckt als höhere Schichten.

Manchmal haftet die untere Schicht jedoch nicht richtig auf der Druckplatte. Das kann einerseits dazu führen, dass der Druck komplett misslingt, da der Druckkopf die nicht haftenden Fäden hinter sich herzieht.

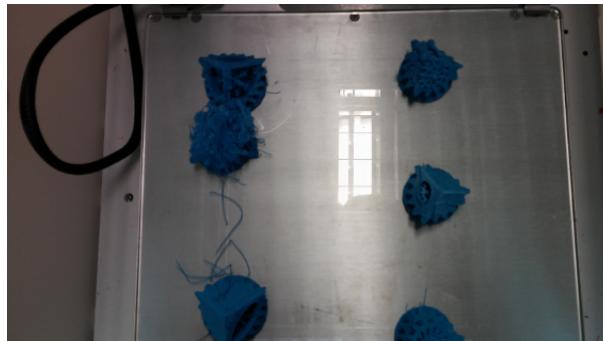


Abbildung 5.2: Beispiel für mangelnde Haftung: Das Objekt links in der Mitte wurde hinter dem Druckkopf hergezogen

Andererseits kann es passieren, dass das Objekt zwar gedruckt wird, sich die Schichten aber mit zunehmender Höhe gegeneinander verschieben. Da die untere Schicht nicht fest auf der Druckplatte haftet, kann es passieren, dass das Objekt vom Druckkopf leicht verschoben wird. Dadurch sitzen die Schichten nicht exakt aufeinander und sind gegeneinander verschoben.

Dieser Fehler tritt wegen mangelnder

Haftung der untersten Filamentschicht auf der Druckplatte auf.

Als Gegenmaßnahme kann die gläserne Druckplatte mit einer dünnen Schicht Klebstoff

bestrichen werden. Dadurch haftet die erste Filamentschicht wieder besser. Zudem bietet Ultimaker inzwischen eine neue Druckplatte an, die speziell beschichtet ist und dadurch eine bessere Haftung ermöglichen soll.

5.4 Stringing

Es kann passieren, dass sich beim Drucken unerwünschte Fäden aus Filament bilden. Diese können entweder zwischen einzelnen Strukturen eines gedruckten Objekts oder zwischen mehreren Objekten auftreten. Dieser Fehler wird als Stringing bezeichnet.

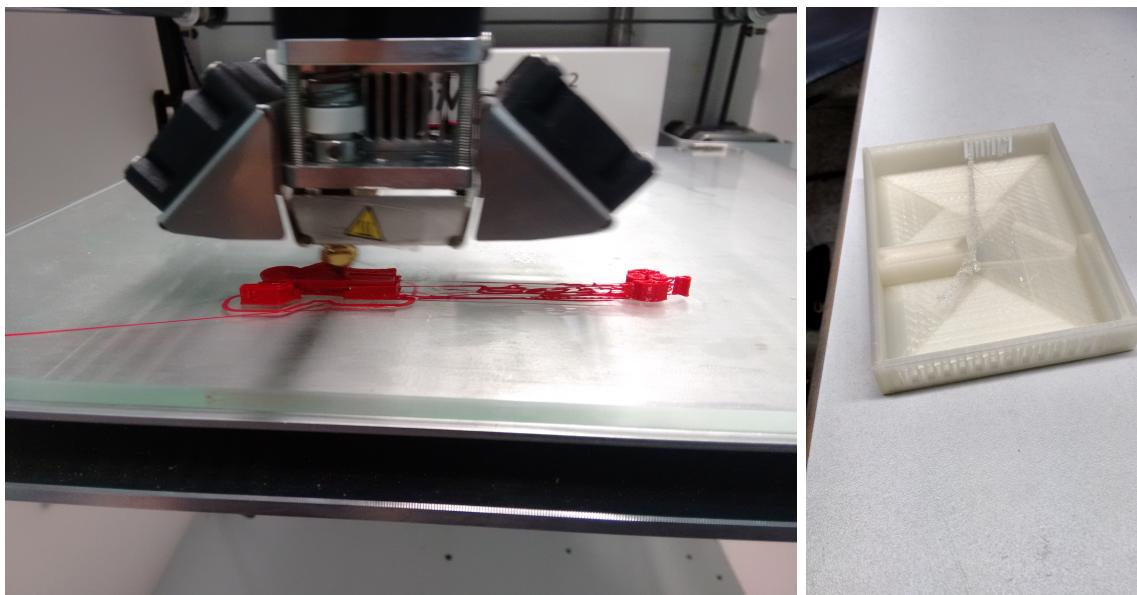


Abbildung 5.3: Beispiele für Stringing: Zwischen zwei Objekten (links) und zwischen Strukturen eines Objekts (rechts)

Die Ursache für das Stringing ist in der Regel, dass die Retraction zu gering eingestellt ist. Wenn der Druckkopf längere Strecken zurücklegen muss, auf denen kein Filament gedruckt werden soll, wird das Filament zurückgezogen. Dieser Vorgang nennt sich Retraction und soll das Stringing verhindern.

Wird das Filament allerdings nicht stark genug zurückgezogen oder ist die Retraction sogar komplett abgeschaltet, bildet das Filament, das noch an der Düse hängt, einen Faden und wird vom Druckkopf mitgezogen.

5.5 zu wenig Material

5.6 grinding

Beim Grinding .

5.7 untersch Druckergebnisse je nach Druckposition

Abhängig von der Position auf der Druckplatte, an der dasselbe Objekt zum Drucken platziert wird, ergeben sich teilweise stark unterschiedliche Ergebnisse. An manchen Positionen gelingt der Druck gut, während an anderen Fehler auftreten. Je nach Position haftet das Objekt unterschiedlich stark an der Druckplatte. Auch die Menge an Filament, die gefördert werden kann, hängt von der Position ab.

Die unterschiedlich starke Haftung kann mehrere Ursachen haben: Da die Glasplatte nicht perfekt auf der Heizplatte aufliegt 5.1.4, kann es sein, dass verschiedene Positionen unterschiedlich gut erhitzt werden. An manchen Positionen haftet das Objekt somit schlechter, da diese nicht so gut beheizt werden. Eine weitere Ursache kann sein, dass der Klebstoff, der die Haftung des Filaments auf der Druckplatte verbessern soll 5.3, nicht gleichmäßig aufgetragen wurde.

Dass an manchen Positionen zu wenig Filament gefördert wird 5.5 kann daran liegen, dass der Widerstand im Bowdenzug variiert, je nachdem, wie stark der Bowdenzug gekrümmmt ist 5.1.3.

5.8 keine Haftung der Linien auf anderen Linien

Ein weiterer Fehler, der auftreten kann, ist, dass das gedruckte Filament sich nicht mit dem Filament der tieferen Schicht verbindet.

Für diesen Fehler sind verschiedene Ursachen denkbar. Entweder ist die Höhe zwischen den Schichten zu groß gewählt, beispielsweise aufgrund schlechter Kalibrierung. Dadurch ist die obere Schicht zu weit von der unteren entfernt und das Filament kann nicht auf den tieferen Schichten haften bleiben. Eine andere Ursache kann sein, dass die Temperatur zu niedrig eingestellt ist. Dadurch schmilzt das Filament nicht so stark und kann sich schlechter mit den unteren Schichten verbinden. Zudem kann dieser Fehler auftreten, wenn zu wenig Material fließt 5.5. .

5.9 schlechte Kalibrierung

5.10 untersch. Filamente, untersch. Eigenschaften

5.11 Spannung Feeder

5.12 Anpressdruck im Feeder

5.13 Knoten im Filament

5.14 Ungeeignete oder falsche Parameter in Cura gewählt

Die Software Cura, die zum Ultimaker 2 gehört, ermöglicht es, viele Parameter einzustellen. Dabei kann es passieren, dass ungeeignete oder falsche Einstellungen vorgenommen werden, die dazu führen, dass der Druck misslingt. Im Folgenden werden einige dieser Parameter und wie sie zu Fehlern führen können, näher beleuchtet.

5.14.1 Ungeeignete Supportstrukturen

Bei Objekten, die starke Überhänge haben oder keine glatte Standfläche bieten, mit der sie auf der Druckplatte platziert werden können, sind Supportstrukturen nötig. Diese stützen starke Überhänge ab beziehungsweise sorgen dafür, dass das Objekt genügend Auflagefläche auf der Druckplatte hat. Die Supportstruktur sollte nicht zu stark mit dem Objekt verbunden sein und sich nach dem Druck möglichst einfach und ohne Rückstände vom Objekt lösen lassen.

Starke Überhänge können beispielsweise mithilfe von Säulen oder dünnen Wänden abgestützt werden. Allerdings lassen sich diese wie bei dem in 5.4 gezeigten Objekt teilweise nur schwer vom Objekt trennen. In diesen Fällen muss das Objekt nachbearbeitet werden.

Supportstrukturen, die für eine größere Auflagefläche des Objekts sorgen sollen, sind beispielsweise Raft oder Brim. In 5.4 ist eine ungeeignete Supportstruktur dargestellt.

Dadurch, dass das Objekt eine abgerundete Unterseite besitzt, wird es komplett von einer Supportstruktur unterstützt. Diese lässt sich jedoch kaum noch vom Objekt trennen.



Abbildung 5.4: Beispiele für ungeeignete Supportstrukturen

5.14.2 Geschwindigkeit

5.14.3 Wanddicke

5.14.4 Temperatur

Die Höhe der Temperatur hängt unter anderem vom Material des Filaments ab. Idealerweise ist die Temperatur so gewählt, dass das Filament gut fließen kann, ohne dabei zu verbrennen.

Ist die Temperatur zu niedrig eingestellt, fließt das Material nicht gut. Zudem verbindet es sich dann schlechter mit dem bereits gedruckten Filament. Bei zu hoher Temperatur kann es passieren, dass das Filament zu flüssig wird und dadurch die

6 Zusammenfassung und Ausblick

7 Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] ABTS, G. : Polymere Werkstoffe. Version: 2014.
<http://dx.doi.org/10.3139/9783446439290.002>. In: *Kunststoff-Wissen für Einsteiger*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. – DOI 10.3139/9783446439290.002. – ISBN 978-3-446-43925-2, S. 65–99
- [2] ANETTE ZWAHR U.A.: *Meyers großes Taschenlexikon*. 2006
- [3] DOMINIK RIETZEL, FLORIAN KÜHNLEIN, DIETMAR DRUMMER: *Selektives Lasersintern von teilkristallinen Thermoplasten*.
<https://www.rtejournal.de/ausgabe6/3113/pdfversion.pdf>, 2009
- [4] GEBHARDT, A. : Grundlagen des Rapid Prototyping. In: *RTejournal* 1 (2004), Nr. 2004
- [5] HAGL, R. : 3D-Druck-Technologien. In: *Das 3D-Druck-Kompendium: Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*. Springer-Verlag, 2014, S. 15–35
- [6] KLÖDEN, D. B.: *Infoblatt Generative Fertigung-Elektronenstrahlschmelzen*.
http://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/de/documents/dd/Infobl%C3%A4tter/generative_fertigung-elektronenstrahlschmelzen_fraunhofer-ifam_dresden.pdf,