

Entwurf und Druck eines technischen und eines organischen
Objekts mit dem Ultimaker 2

T2_3100
Studienarbeit

Bachelor of Engineering

des Studienganges IT Automotive
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart

von

Hanna Huber & Jörn Seybold

Juni 2016

Bearbeitungszeitraum:
Kurs, Matrikelnummern:
Ausbildungsfirma:
Betreuer:

Oktober 2015 – Juni 2016
TINF13ITA, 4145264 & 1299140
Robert Bosch GmbH
Rudolf Messer

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde das Entwerfen von dreidimensionalen (3D) Objekten und ihr anschließendes Drucken mit einem dreidimensional (3D)-Drucker behandelt. Hierbei wurde mithilfe des Druckers Ultimaker 2 ein technisches und ein organisches Objekt hergestellt. Mithilfe verschiedener Programme wurden die Objekte entworfen und für den Druck vorbereitet. Eine Vielzahl von Fehlern traten beim Druckvorgang auf. Als Ergebnisse der Druckvorgänge diskutieren wir die Eignung der heutigen Consumer-3D-Drucker für die Herstellung von Objekten unter Berücksichtigung technischer Aspekte und der Umsetzbarkeit von Ideen.

Selbstständigkeitserklärung

Gemäß §5(3) der „Studien- und Prüfungsordnung DHBW Technik“ vom 29.September 2015. Wir haben die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Ort

Datum

Unterschrift

Ort

Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Technische Grundlagen & Stand der Technik	7
2.1 Drucktechniken	7
2.1.1 Schmelzschichtverfahren	7
2.1.2 Stereolithographie	8
2.1.3 Sintern	9
2.1.4 Binder-Verfahren	11
2.1.5 Schicht-Laminat-Verfahren	11
2.2 Materialien	12
2.2.1 Metalle und deren Legierungen	12
2.2.2 Monomere	12
2.2.3 Thermoplaste	12
2.3 Stabilitätsanalyse	13
2.3.1 Schmelzschichtverfahren	13
2.3.2 Stereolithographie	13
2.3.3 Lasersintering	13
2.3.4 Binder-Verfahren	14
2.3.5 Schicht-Laminat-Verfahren	14
2.4 Computer-Aided Design (CAD)	14
2.4.1 CAD-Programme	14
Solid Edge	15
Blender	15
2.4.2 Slicing	16
Cura	16
Repetierhost	17
2.4.3 Dateiformate	17
Stereolithography (STL)	17
G-Code	18
2.5 Der 3D-Drucker Ultimaker 2	19
3 Entwicklung eines technischen Objekts	20
3.1 Ist-Analyse	21
3.2 Konzept: Modulare Boxen	22
3.3 Entwurf	23
3.4 Druck des Objekts	25
3.4.1 Deckel	25

3.4.2	Rahmen	26
3.4.3	Bodenplatte	26
3.4.4	Boxen	26
3.5	Fazit: Eignung für technische Objekte	27
3.5.1	Material	28
3.5.2	Unzureichende Druckgenauigkeit	28
4	Entwicklung eines organischen Objekts	30
4.1	Konzept	30
4.2	Entwurf	31
4.3	Druck des Objekts	31
4.4	Fazit: Eignung für organische Objekte	33
5	Aufgetretene Fehler beim Drucken	34
5.1	Hardware-Defekte	34
5.1.1	Verschleiß der Polytetrafluorethylen (PTFE)-Kopplung	34
5.1.2	Fehlfunktion des Temperatursensors	35
5.1.3	Reibung in Bowdenzug	35
5.1.4	Gebogene Heizplatte	36
5.1.5	Heizblock von Material verklebt	36
5.2	Fehler während des Druckens	37
5.2.1	Mangelnde Haftung des Objekts auf der Druckplatte	37
5.2.2	Stringing	38
5.2.3	Filament-Unterförderung	38
5.2.4	Grinding	39
5.2.5	Verschmutzte Düse	40
5.2.6	Druckergebnisse abhängig von Druckposition	40
5.2.7	Keine Haftung zwischen den Schichten	41
5.3	Ungeeignete oder falsche Parameter in Cura gewählt	41
5.3.1	Ungeeignete Supportstrukturen	41
5.3.2	Geschwindigkeit	42
5.3.3	Wanddicke	42
5.3.4	Temperatur	42
5.4	Weitere Fehler	43
5.4.1	Falsche Kalibrierung	43
5.4.2	Probleme abhängig von Filamenteigenschaften	43
5.4.3	Elektrische Spannung am Feeder	45
5.4.4	Anpressdruck im Feeder	45
5.4.5	Unsauber aufgerolltes Filament	45
6	Zusammenfassung und Ausblick	46
6.1	Technisches Objekt	46
6.2	Organisches Objekt	47
6.3	Upgrade des Druckers	47
6.4	Fazit zu additiven Fertigungsverfahren	47

6.5	Schlussbetrachtung	49
7	Literaturverzeichnis	50

Abkürzungsverzeichnis

3D dreidimensional

ABS Acrylnitril-Butadien-Styrol

CAD Computer-Aided Design

DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

PLA Polyactid

PTFE Polytetrafluorethylen

SD Secure Digital

SMD Surface Mounted Device

STL Stereolithography

USB Universal Serial Bus

UV Ultraviolett

zb zum BSP

Abbildungsverzeichnis

2.1	Prinzip des Schmelzschichtverfahrens [9]	8
2.2	Prinzip der Ultraviolet (UV)-Stereolithografie [13]	9
2.3	Funktionsweise des Elektronenstrahlschmelzens [13]	10
2.4	Prinzip des selektiven Lasersinterns [13]	10
2.5	Funktionsweise des Schicht-Laminat-Verfahrens [9]	11
2.6	Screenshot des Programms Solid Edge	15
2.7	Screenshot des Programms Blender	15
2.8	Screenshot des Programms Cura	16
2.9	Screenshot des Programms Repetierhost	17
2.10	Ultimaker 2+ [16]	19
3.1	Ursprüngliches Stapelsystem	21
3.2	Bemaßung der einzufassenden Objekte	22
3.3	Entwurf der Objekte	23
3.4	Gedruckter Deckel	25
3.5	Gedruckter Rahmen	26
3.6	Gedruckte Bodenplatte	26
3.7	Gedruckte Boxen	27
3.8	Zusammengesetztes Aufbewahrungssystem	27
4.1	Design des organischen Objekts	31
4.2	Druck des organischen Objekts in verschiedenen Positionierungen	32
5.1	Ausgebaute PTFE-Kopplung	34
5.2	Fehlermeldung des Temperatursensors	35
5.3	Filament um Heizblock	36
5.4	Ausgebauter Heizblock	37
5.5	Beispiel für mangelnde Haftung: Das Objekt links in der Mitte wurde hinter dem Druckkopf hergezogen	37
5.6	Beispiele für Stringing	38
5.7	Beispiel für Stringing zwischen zwei Objekten	42
5.8	verschiedene Materialeigenschaften	44

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 Grundstoffs 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 ein geringerer Materialverbrauch und die Realisierbarkeit komplexerer Formen.

Einige dieser Verfahren werden in der Industrie bereits verwendet, beispielsweise um medizinische Implantate herzustellen. Ein großes Anwendungsgebiet liegt im Bereich des Rapid Prototypings. Dabei geht es darum, möglichst schnell Prototypen herzustellen, um die Eignung eines Designs für das spätere Serienprodukt zu erforschen. Da hier nur geringe Stückzahlen benötigt werden, für die 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 Schmelzschichtverfahren basieren, werden inzwischen zu erschwinglichen Preisen angeboten. [7, S.5f.]

Im letzten Jahr hat die Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) einen solchen 3D-Drucker, den Ultimaker 2, angeschafft. In einer vorangegangenen Studienarbeit wurde dieser in Betrieb genommen und erste Objekte gedruckt. Die vorliegende Studienarbeit befasst sich mit dem Designen von Objekten und dem anschließenden Drucken mit dem Ultimaker 2.

Mithilfe verschiedener Programme sollen ein technisches und ein organisches Objekt erstellt werden. Anschließend sollen sie mit dem Ultimaker 2 gedruckt 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 im Hauptteil des Berichts die Erstellung des technischen und organischen Objekts näher beschrieben.

2 Technische Grundlagen & Stand der Technik

Dieses Kapitel umfasst die technischen Grundlagen, die zum Verständnis des Berichts nötig sind, sowie den aktuellen Stand der Technik. Zunächst werden aktuelle Drucktechniken sowie häufig verwendete Druckmaterialien behandelt. Anschließend wird die Stabilität der Druckresultate verschiedener Verfahren verglichen. Im Abschnitt CAD werden Programme und gängige Dateiformate für den Entwurf eines zu druckenden Objekts vorgestellt. Anschließend folgt ein Abschnitt über den Drucker Ultimaker 2, der in dieser Arbeit verwendet wird.

2.1 Drucktechniken

Dreidimensionale Objekte können mit verschiedenen Verfahren gedruckt werden. Viele werden bereits seit Langem eingesetzt. Die Technologie war folglich schon verfügbar, doch erst in den letzten Jahren erreichen die Drucker den Endkundenmarkt. Grund dafür ist eine zunehmende Anzahl von günstigen Druckern, die auf dem Markt erhältlich sind. Im Folgenden werden 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. In Abbildung 2.1 ist zu sehen, wie ein Extruder eine Schicht Material auf ein Objekt aufträgt.

Das im Verhältnis zu anderen Drucktechniken langsame Verfahren eignet sich, um Modelle herzustellen, mit denen die Passgenauigkeit von Prototypen getestet werden kann. Die Auswahl an Materialien ist groß; auch Lebensmitteldrucker wie solche für Schokolade sind möglich. Im Gegensatz zu den meisten anderen Verfahren eignen sich Drucker dieses Verfahrens für den Bürogebrauch. Zudem sind mittlerweile preiswerte Drucker dieses Verfahrens erhältlich [10, S.17]. Auch der Ultimaker 2, der in dieser Studienarbeit verwendet wird, arbeitet nach dem Schmelzschichtverfahren.

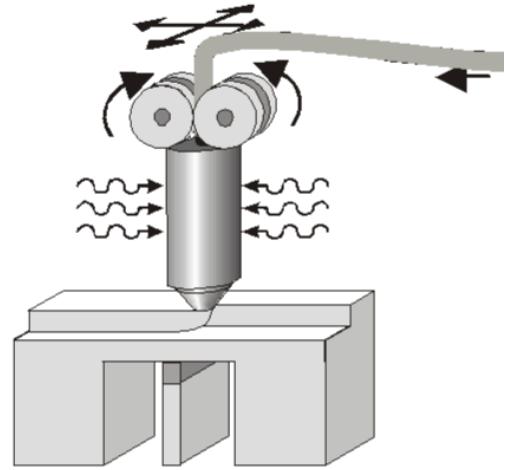


Abbildung 2.1: Prinzip des Schmelzschichtverfahrens [9]

2.1.2 Stereolithographie

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

Manche organischen Verbindungen können mittels 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. In Abbildung 2.2 ist das Prinzip der Stereolithografie abgebildet.

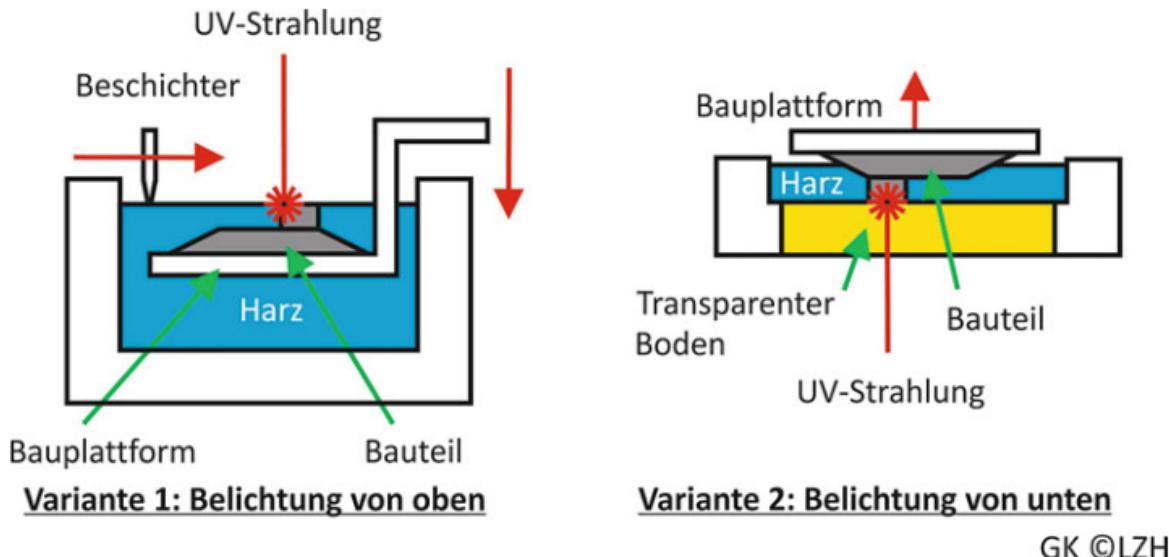


Abbildung 2.2: Prinzip der UV-Stereolithografie [13]

GK ©LZH

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.

Wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist, lässt sich dieser Prozess auch andersherum durchführen, wenn die Belichtung von unten erfolgt.

Alternativ zur Photomaske mit gleichmäßiger Quelle kann auch ein UV- Laser verwendet 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. [9, 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 erzwungen werden, dass sich die Oberflächen der einzelnen Pulverkörner verbinden. Für den 3D- Druck sind insbesondere Verfahren relevant, die ein selektives Verbinden der Körner ermöglichen. [3, Bd.20, S.7037]

Ein Verfahren, das dies ermöglicht, ist das Elektronenstrahlschmelzen. Abbildung 2.3 zeigt die Funktionsweise des Elektronenstrahlschmelzens. Dabei wird schichtweise das Pulver des Ausgangsmaterials selektiv mit einem Elektronenstrahl geschmolzen. Nachdem eine Schicht fertig gestellt ist, 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. [12]

Alternativ zum Elektronenstrahl kann auch ein Laser eingesetzt werden, um das Pulver zu verschweißen. Mit diesem Verfahren können auch Kunststoffe verarbeitet werden. Das Prinzip des Lasersinterns ist in Abbildung 2.4 dargestellt. [6]

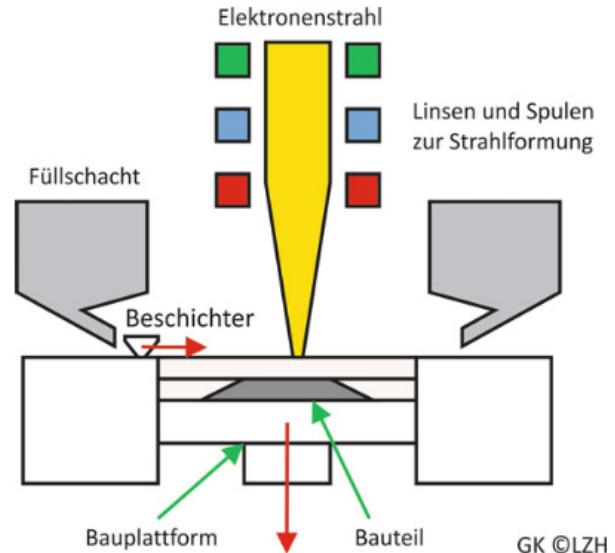


Abbildung 2.3: Funktionsweise des Elektronenstrahlschmelzens [13]

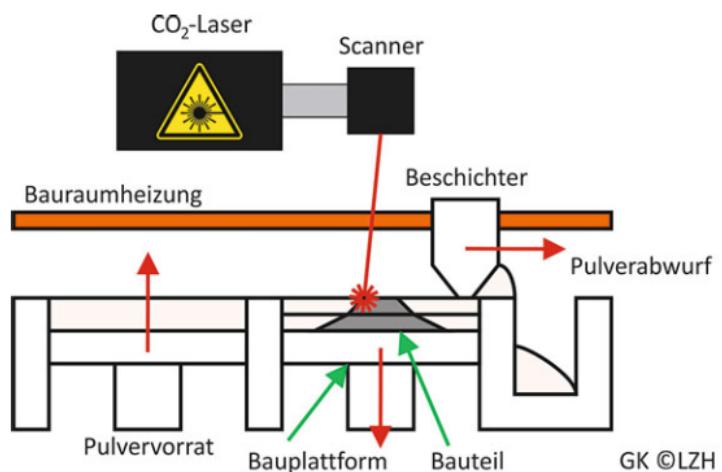


Abbildung 2.4: Prinzip des selektiven Lasersinterns [13]

2.1.4 Binder-Verfahren

Beim Binderverfahren wird ein Bindemittel in ein pulverförmiges Ausgangsmaterial eingespritzt. Indem das Bindemittel selektiv eingebracht wird, können die gewünschten Strukturen erzeugt werden. [9, S.11]

2.1.5 Schicht-Laminat-Verfahren

In jeder Schicht wird ein Metallblech mit einem Laser in Form geschnitten. Die übereinander liegenden fertigen Schichten werden dann verpresst, verklebt oder versintert.

Die Abfolge der Arbeits schritte beim Schicht-Laminat-Verfahren wird in Abbildung 2.5 dargestellt.

Das geschichtete Objekt, das bei diesem Verfahren entsteht, hat unterschiedliche Eigenschaften, je nachdem, ob es in oder gegen Faserrichtung betrachtet wird. [10, S.33]

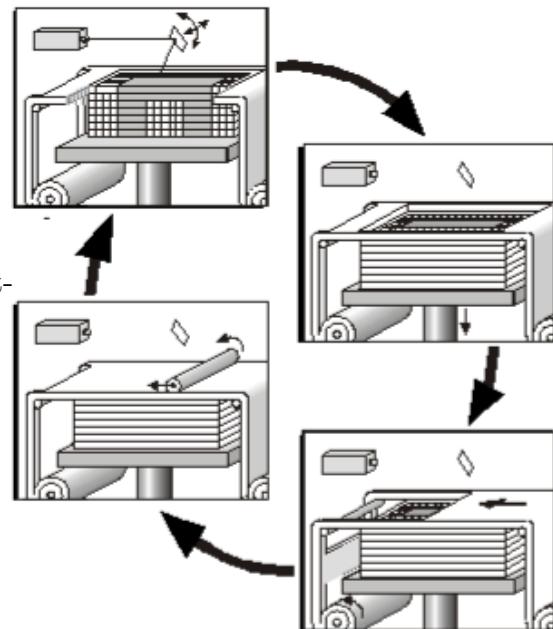


Abbildung 2.5: Funktionsweise des Schicht-Laminat-Verfahrens [9]

2.2 Materialien

Die verschiedenen Druckverfahren erfordern unterschiedliche Grundstoffe für das Drucken. In diesem Abschnitt werden verschiedene Materialien vorgestellt.

2.2.1 Metalle und deren Legierungen

Pulver verschiedener Metalle und Legierungen lassen sich sintern. Bleche können im Schicht-Laminat-Verfahren 2.1.5 zu einem festen Objekt geformt werden. Im Allgemeinen lassen sich aus Metall mit 3D-Druckverfahren 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. [2]

2.2.3 Thermoplaste

Bereits polymerisierte Kunststoffe unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf hohe Temperaturen. Eine Gruppe 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, verschmolzen Thermoplaste. Daher muss beim Drucken eine Temperatur gefunden werden, die hoch genug ist, um das Material so zu verflüssigen, dass es gut gedruckt werden kann. Die Temperatur darf allerdings nicht zu hoch sein, damit das Material nicht beschädigt wird. Bekannte Thermoplaste sind Polyactid (PLA) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS).

Beim Drucken mit ABS entstehen giftige Dämpfe. Die Menge an ausgeschiedenem Gas ist unbedenklich, wenn die Druckertemperatur korrekt eingestellt wird, allerdings sollte der Druckraum trotzdem gut ventiliert werden.

Im Gegensatz zu den Thermoplasten verflüssigen sich Duroplaste nicht; sie verschmolzen direkt, wenn die Temperatur zu hoch wird. Dadurch eignet sich diese Gruppe von Polymeren nicht für das Extrusionsverfahren. [5, S.510ff.]

2.3 Stabilitätsanalyse

In diesem Kapitel wird betrachtet, wie stabil die Objekte sind, die mit den in Kapitel 2.1 vorgestellten Verfahren hergestellt werden. Dabei wird insbesondere Bezug darauf genommen, wie stabil die Objekte verglichen mit Objekten, die in einem anderen Verfahren hergestellt werden, sind.

2.3.1 Schmelzschichtverfahren

Im Extrusionsverfahren hergestellte Objekte sind mechanisch und thermisch belastbarer als Objekte, die mit Stereolithografie erstellt werden. [9, S.10]

Es kann allerdings vorkommen, dass manche Bereiche eines Objekts weniger stabil sind als andere Bereiche. [10, S.15-35]

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 werden. [9, S.4]

Zudem ist unklar, ob diese Objekte stabil genug für einen Dauereinsatz sind. [10, S.15-35]

2.3.3 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.

Gesinterete Teile sind porös, was jedoch bei manchen Anwendungsfällen erwünscht sein kann. Die Porosität kann abgeschwächt werden, indem das Pulver mit anderen Materialien versetzt wird. [10, S.15-35]

2.3.4 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 naturgemäß keinen starken Belastungen stand. [9, S.12]

2.3.5 Schicht-Laminat-Verfahren

Da bei diesem Verfahren die Objekte aus verschiedenen Schichten aufgebaut werden, die miteinander verpresst oder verklebt werden, weisen diese Objekte je nach Richtung verschiedene Eigenschaften auf. [9, S.8]

Zudem kann bei diesem Verfahren Papier als Material verwendet werden. Naturgemäß ist Papier nicht lange haltbar, insbesondere bei Kontakt mit Wasser. [10, S.15-35]

2.4 Computer-Aided Design (CAD)

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

2.4.1 CAD-Programme

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

Solid Edge

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 extrudiert werden. Zusätzliche Funktionen von Solid Edge unterstützen bei der Stabilitätsanalyse der entwickelten Objekte.

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 können. Der parallele Entwicklungsstack erleichtert die nachträgliche Veränderung von Arbeitsschritten wie zum Beispiel die Maße, die während einer Extraktion angegeben werden. 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. [14]

Blender

Blender ist ein Open Source Programm, das eine Vielzahl von Computergrafikanwendungen 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 von animierten Fingern mit Regeln definiert werden. Das Objekt-Design unterliegt der Manipulation von Basis-Objekten, die dann anschließend zu einem Objekt vereinigt werden. [4]

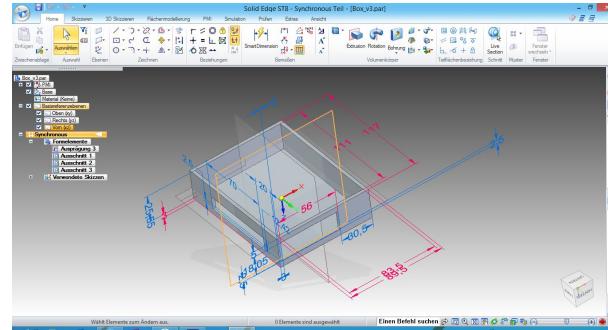


Abbildung 2.6: Screenshot des Programms Solid Edge

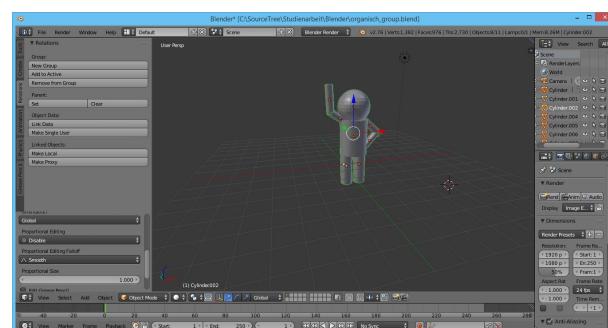


Abbildung 2.7: Screenshot des Programms Blender

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.

Für den 3D-Drucker Ultimaker 2 bietet die Firma Ultimaker das eigene Programm Cura an. Mit Cura können 3D-Objekte gesliced und in Dateien gespeichert werden, die vom Ultimaker 2 gedruckt werden können. Alternativ kann das Programm Repetierhost verwendet werden.

Cura

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 Slicens deutlich. Viele Druckoptionen sind erst mit neueren Versionen möglich.

Eine wichtige Funktion, die in Cura fehlt, ist eine Einstellmöglichkeit für die Drucktemperatur. Der Befehl ist im G-code vorgesehen, allerdings mit Cura nicht beeinflussbar.

Die für die Studienarbeit verwendeten Versionen des Programms sind der offizielle Release 15.4.2, der auf der Website [17] heruntergeladen werden kann und die Beta-Version 1.99.0 aus dem Closed-Beta-Verzeichnis [15]. Nach den ersten Drucken wechselten wir zur Beta-Version, da dort viele Parameter besser einstellbar waren. Die Slicing-Engine wurde ebenfalls verbessert. Mittlerweile ist der offizielle Versionsstand nach einem Nummerierungswechsel bei 2.1.2 (Stand 11.06.2016).

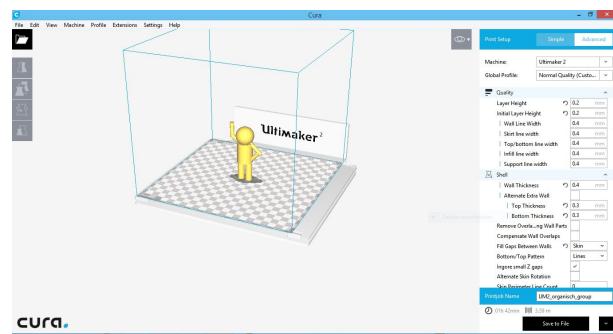


Abbildung 2.8: Screenshot des Programms Cura

Repetierhost

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 G-code erzeugen kann.

Cura liefert mitunter fehlerhaften G-code, in dem Löcher klaffen oder Schichten fehlen. Mithilfe des Repetierhosts können diese Fehler entdeckt werden. [11]

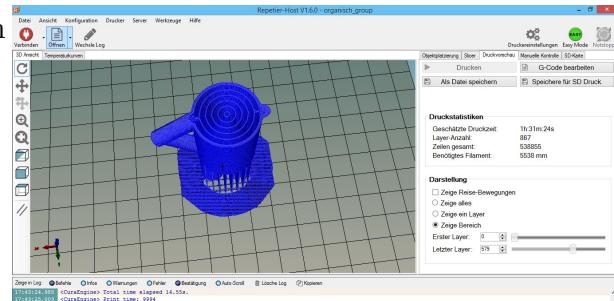


Abbildung 2.9: Screenshot des Programms Repetierhost

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 dreieckig orientierte 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 Bereiche mit unterschiedlich eingestellte Drucktemperaturen oder Druckfarben verloren. Daher eignet sich das Format nur zur Übergabe von einfachen Formeigenschaften.

Beim Erzeugen der STL-Datei ist auf die korrekten Maße zu achten. Bei zu geringer Auflösung der Facetten können Rundungen oder Bohrungen zu stark diskretisiert werden und als Vielecke mit wenigen Kanten übersetzt werden.

G-Code

Der G-Code, der aus der Welt der Fräsen kommt, ist 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 Der 3D-Drucker Ultimaker 2

Der Ultimaker 2 ist ein 3D-Drucker von der gleichnamigen Firma. Das Bauvolumen umfasst 223x223x205mm.

Anfang 2016 wurde der Drucker zum Ultimaker 2+ verbessert. Die hierfür nötigen Upgrades umfassen Verbesserungen des Feeders und einen neuen Druckkopf. Der neu hinzugekommene Olsson-Block ermöglicht das Wechseln der Düsen ohne die vollständige Demontage des Druckkopfes. Die zu druckenden Dateien im G-Code-Format werden auf einer Secure Digital (SD)-Karte vom Rechner auf den Drucker übertragen. Dort wählt man die entsprechende Datei in einem Menü aus und der Druck wird gestartet.

Die X- und Y-Position werden durch Verschieben des Druckkopfes verändert. Die Z-Achse des Druckers wird durch Manipulation der Druckplatte erreicht. Darin unterscheidet sich der Ultimaker 2 vom Ultimaker Original. Das ältere Modell erreichte den Höhenversatz durch Bewegung des Druckkopfes.

Gedruckt wird auf einer Glasplatte, welche auf einem Heizbett fixiert ist. Die Höhe des Druckbetts kann kalibriert werden, indem seine Neigung mit Schrauben an den vorderen Ecken und seine Höhe an der Gewindestange verstellt wird.

Der Feeder befindet sich an der Rückseite des Druckers. Über einen Bowdenzug wird das Druckmaterial von hier aus zum Druckkopf geleitet. Der Bowdenzug wird über eine PTFE-Kopplung in die beheizte Düse geleitet.

Mit dem Upgrade zum Ultimaker 2+ wurde der Feeder, dessen Motor zuvor direkt das Material schob, um ein Getriebe erweitert. Außerdem wurde der bisher mit der Düse fest verbundene Heizblock durch einen Olsson-Block ersetzt, bei dem die Düse austauschbar ist. Dadurch muss zum Ändern der Düsengröße nicht mehr der komplette Druckkopf auseinandergebaut werden.

Unter Quelle [18] finden sich die Website des Druckerherstellers und zusätzliche Informationen über den Drucker.



Abbildung 2.10: Ultimaker 2+ [16]

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 wird, 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 hingegen, dass ein solches Objekt möglichst einfach zu produzieren ist. Technische 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 besitzen.

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 diese Studienarbeit wird als technisches Objekt exemplarisch ein Aufbewahrungssystem für einen Raspberry Pi, der mit einem Universal Serial Bus (USB)- Hub und einer externen Festplatte gekoppelt ist, 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 2.5 vorgestellt wird. In der Arbeit mit einem anderen Drucker können sich Vorgehensweise und Ergebnis deutlich unterscheiden.

In diesem Kapitel wird zuerst das bestehende Aufbewahrungssystem analysiert. Anschließend folgt eine Beschreibung des Konzepts für das neue Aufbewahrungssystem, das während der Studienarbeit gedruckt werden soll. Folgend werden der Entwurf des Systems mit einem CAD-Programm und der Druck des Objekts beschrieben. Zuletzt folgt ein Fazit über die Eignung des Ultimaker 2 zum Drucken von technischen Objekten.

3.1 Ist-Analyse

Zu entwerfen ist ein Aufbewahrungssystem 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.

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



Abbildung 3.1: Ursprüngliches Stapelsystem

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 verbunden werden können. Das bisherige System sollte die Portabilität ermöglichen, war jedoch aufgrund der oben genannten Instabilität dazu nicht in der Lage.

Die Ausmaße der zu verstauenden Objekte sind in Abbildung 3.2 zu sehen.

Zusätzlich zu diesen Maßen kommen beim Pi noch die Positionen der Schraubbohrungen 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 Aufbewahrungssystem übernommen werden. Die Platzierung der Komponenten übereinander ist sehr platzsparend. Zudem kann das System dadurch gut transportiert werden.



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

Abbildung 3.2: Bemaßung der einzufassenden Objekte

3.2 Konzept: Modulare Boxen

Als Ersatz für den oben beschriebenen Käfig aus Lochblechen soll ein modulares Stapsystem dienen. Auf einer massiven Grundplatte werden Boxen gestapelt. Jede Box beinhaltet eine Komponente (Raspberry Pi, USB-Hub oder Festplatte). Die Außenmaße der Boxen sind in Breite und Länge immer gleich. Diese 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 werden verschiedene Aussparungen in den Seitenwänden der Boxen angebracht, durch die Kabel geführt werden können. Im Aufbewahrungssystem werden die Boxen auf der Grundplatte gestapelt.

Um das Aufbewahrungssystem zusammenzuhalten, werden Rahmen zwischen die Boxen gelegt, die die Boxen zwischen Gewindestangen fixieren. Die Gewindestangen sind an der Unterseite 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 designet werden. Diese Box kann dann wie beschrieben mit Rahmen am System befestigt werden.

3.3 Entwurf

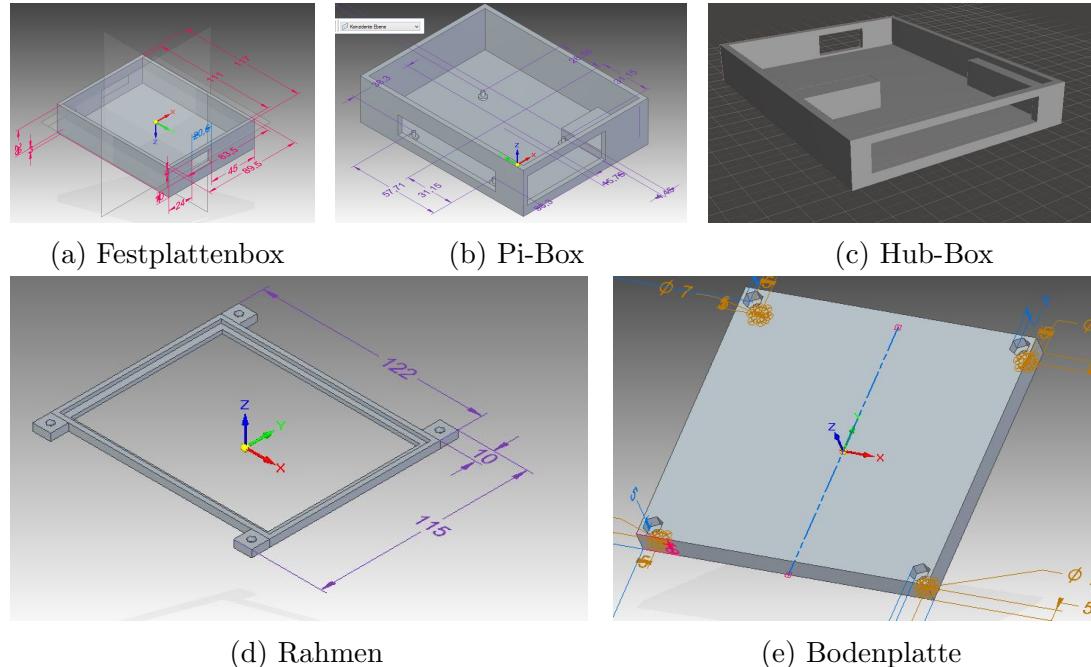


Abbildung 3.3: Entwurf der Objekte

Das Konzept soll für die vorhandenen Komponenten, also für Raspberry Pi, USB-Hub und Festplatte, umgesetzt werden. Die zu druckenden Objekte werden mit dem CAD-System Solid Edge designt.

Als erster Schritt werden die Maße von Festplatte, USB-Hub und Raspberry Pi genommen. Davon ausgehend wird für jede Komponente eine Box entworfen.

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, wird 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 halten. Die Wand der Box ist wie bei der Festplattenbox auf Höhe der Schnittstellen ausgeschnitten. Zusätzlich gibt es einen Ausschnitt an der Rückseite der Box, durch die Stromzufuhr und Anschlusskabel für den Raspberry Pi hinausgeführt werden können. Die Box ist in Abbildung 3.3c dargestellt.

Die Box für den Raspberry Pi erfordert einen größeren Design-Aufwand als die zuvor beschriebenen Boxen. Auf der Unterseite benötigt der Pi, aufgrund seiner Lötpunkte und SMD-Bauteile, Abstand zum Boden. Daher wird er auf Säulen gesetzt, die ihn in seinen Schraub-Bohrungen fixieren. Die zusätzliche Höhe, die dadurch entsteht, muss bei den Ausschnitten der Schnittstellen miteinbezogen werden. Damit alle Schnittstellen erreichbar sind, wird der Pi in eine 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 eingeschlossenen Boxen gegeben. Abbildung 3.3d zeigt den Entwurf des Rahmens.

Die Bodenplatte ist das Grundgerüst des Systems. Da die Gewindestangen außerhalb der Boxen durch die Durchführungen in den Rahmen verlaufen, ist die Bodenplatte um die Größe der Durchführungen breiter und länger als die Boxen. An derselben Position wie die Rahmen hat auch die Bodenplatte Durchführungen für die Gewindestangen. Die vier Gewindestangen werden durch die Bodenplatte geführt und an der Unterseite der Bodenplatte mit M4-Muttern festgeschraubt. Damit das Aufbewahrungssystem nicht nur auf diesen vier Muttern steht, sind an der Unterseite der Bodenplatte Einschnitte für die M4-Muttern vorgesehen. Dadurch steht das Aufbewahrungssystem stabil auf der Bodenplatte. Der Entwurf der Bodenplatte ist in Abbildung 3.3e dargestellt.

3.4 Druck des Objekts

Dadurch, dass das Aufbewahrungssystem aus vielen einzelnen Komponenten zusammengesetzt ist, sind auch viele Drucke notwendig. Einige der Komponenten, wie beispielsweise die Deckel für die Boxen und die Rahmen, werden zudem in mehrfacher Ausführung benötigt. Dadurch ist insgesamt ein hoher Zeitaufwand mit dem Druck verbunden.

Zusätzlich zu der hohen Anzahl an Komponenten, die gedruckt werden müssen, kommt, dass einige Fehldrucke auftraten. Außerdem zeigte sich beim Drucken der Komponenten, dass manche Maße aufgrund der Ungenauigkeit des Druckers zu gering gewählt waren und die Komponenten neu bemaßt und gedruckt werden mussten.

Im Folgenden wird der Druck der Komponenten kurz beschrieben und gegebenenfalls Besonderheiten beim Druck erwähnt. Auf die Fehler, die beim Druck auftraten, wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Die Fehler werden im Kapitel 5 ausführlicher beschrieben.

3.4.1 Deckel

Dadurch, dass der Deckel relativ dünn ist, ist es wichtig zu gewährleisten, dass er dennoch stabil ist. Deshalb wird er massiv gedruckt. Aufgrund der geringen Größe dauert der Druck dennoch nicht unakzeptabel lange.

Wie in Abbildung 3.4 zu sehen ist, wird der Deckel mit einem konzentrischen Infill-Pattern gedruckt. Dieses Muster kann vom Drucker schneller gedruckt werden als andere Muster und liefert genügend Stabilität für den Deckel.

Es ist jedoch auffällig, dass der Druck mit rotem Filament deutlich besser gelingt als mit durchsichtigem. Dieser Effekt wird in Kapitel 5.4.2 näher erläutert.

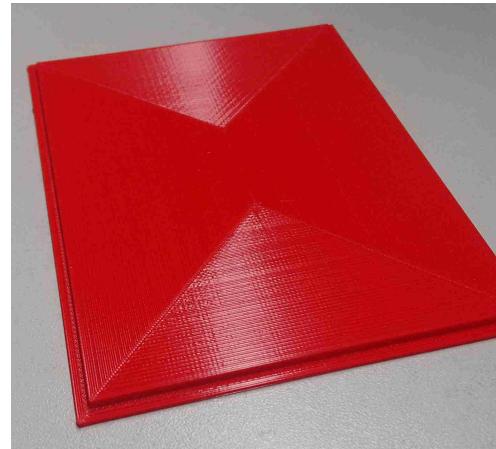


Abbildung 3.4: Gedruckter Deckel

3.4.2 Rahmen

Wie der Deckel wird auch der Rahmen massiv gedruckt. Auch hier ist das Ziel, eine hohe Stabilität zu erreichen. Dieses Ziel zu erreichen ist beim Rahmen noch wichtiger als beim Deckel, da die Rahmen das gesamte Aufbewahrungssystem zusammenhalten sollen.

Als Infill-Pattern wurde beim Rahmen, ebenso wie beim Deckel, ein konzentrisches Muster gewählt. Aufgrund der rechteckigen Form des Rahmens kann der Druckkopf ihn leicht mit einem konzentrischen Muster abfahren. Abbildung 3.5 zeigt den gedruckten Rahmen.



Abbildung 3.5: Gedruckter Rahmen

3.4.3 Bodenplatte

Zwar ist auch bei der Bodenplatte die Stabilität wichtig, aber dadurch, dass sie insgesamt dicker ist als Rahmen oder Deckel, muss sie nicht massiv gedruckt werden. Bei der Bodenplatte wird auch mit 70% Füllung eine ausreichend hohe Stabilität bei einer noch akzeptablen Druckdauer erreicht. Die gedruckte Bodenplatte ist in Abbildung 3.6 zu sehen. Im Gegensatz zu Rahmen und Deckel wird hier kein konzentrisches Infill-Pattern gewählt. Stattdessen wird die Bodenplatte mit Linien gefüllt.



Abbildung 3.6: Gedruckte Bodenplatte

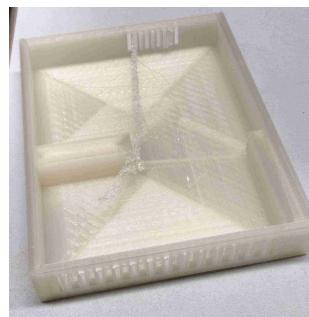
3.4.4 Boxen

Durch die Größe der Boxen würde ein massiver Druck unverhältnismäßig viel Zeit in Anspruch nehmen. Die gewünschte Stabilität kann auch mit nicht ganz ausgefüllten Objekten erzielt werden. Die endgültigen Versionen der Boxen für den Raspberry Pi und den USB-Hub sind zu 90% gefüllt, für die Festplattenbox wurden 80% gewählt.

Die Boxen für den USB-Hub (dargestellt in Abbildung 3.7b) und die Festplatte (dargestellt in Abbildung 3.7a) werden mit konzentrischen Mustern gedruckt. Für die in Abbildung 3.7c abgebildete Raspberry Pi-Box werden Linien verwendet, da der innere Aufbau dieser Box so kompliziert ist, dass er mit konzentrischen Mustern nur schwer auszufüllen wäre.



(a) Festplattenbox



(b) Hub-Box



(c) Pi-Box

Abbildung 3.7: Gedruckte Boxen

3.5 Fazit: Eignung für technische Objekte

Abbildung 3.8 zeigt das zusammengesetzte Aufbewahrungssystem.

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

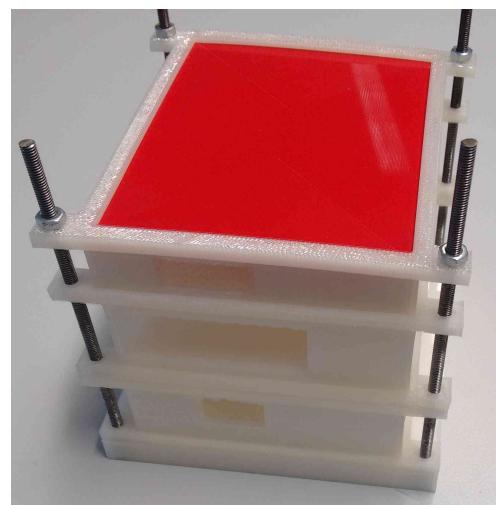


Abbildung 3.8: Zusammengesetztes
Aufbewahrungssystem

3.5.1 Material

Als Filament für den Druck 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 teilweise nicht so stark zusammen wie beispielsweise bei rotem Filament, was insbesondere bei konzentrischen Mustern zu einer Instabilität führte. Dieses Problem wird in Kapitel 5.4.2 genauer beschrieben.

Allgemein sollte man beim Ultimaker 2 also vor dem Druck eines größeren Objekts testen, welche Farbe die besten Eigenschaften aufweist.

3.5.2 Unzureichende Druckgenauigkeit

Beim Druck des technischen Objekts war auffallend, dass die in Solid Edge definierten und in Cura noch korrekt dargestellten Maße der Objekte vom Drucker nicht maßgetreu gefertigt wurden. Dies war besonders auffallend bei einem 1cm x 1cm x 1mm - Quader, den wir zum Testen der aktuellen Höhen-Kalibrierung verwendeten. Die Seitenmaße des Quaders maßen anstatt einem Zentimeter nur ca. 8 Millimeter. Bei einer Linienbreite von 0.4mm sind das etwa 4 Linien, die vom Slicer nicht zum Drucken vorgesehen wurden.

Dieses Problem wiederholte sich bei schmalen Strukturen: alle Wände, die nicht über 0.8mm maßen - also eine beidseitige Wand - wurden von Cura ohne Benachrichtigung beseitigt. Mittels Repetierhost kann das Fehlen der Wände aufgezeigt werden. In mancher Situation erzeugte Cura auch Wände, die nicht sein sollten und füllte trotz deaktivierter Funktion klar definierte Hohlräume massiv aus.

Die relativ hohe Ungenauigkeit der Drucke führte teilweise zu Problemen mit den Spaltmaßen. Da oft erhebliche Unterschiede zwischen den definierten Maßen und den Maßen des gedruckten Objekts bestanden, konnten Objekte nicht passend zusammengesetzt werden.

Beispielsweise mussten die Deckel für die Boxen sowie die Serverhülle des Raspberry Pi mit angepassten Maßen erneut gedruckt werden. Manche Objekte mussten zwar nicht erneut gedruckt, aber nachbearbeitet werden, um miteinander kombinierbar zu sein.

Zu dem Zeitpunkt, zu dem das technische Objekt gedruckt wurde, stand nur eine Düse der Größe 0.4mm zur Verfügung. Dadurch war die minimale Breite einer Linie festgelegt. Da für das Aufbewahrungssystems keine Strukturen, die feiner als 0.4mm sind, gedruckt

werden mussten, stellte dies in unserem Fall kein Problem dar. Allerdings wäre für das Drucken von technischen Objekten allgemein eine Möglichkeit, einfach verschieden große Düsen in den Ultimaker 2 einsetzen zu können, wünschenswert. Diese Funktion wird durch den Olsson-Block, mit dem der Ultimaker 2 erweitert werden kann, realisiert.

Für das Aufbewahrungssystem war die Genauigkeit des Ultimaker 2 ausreichend, auch wenn einige Objekte erneut mit höheren Toleranzen gedruckt werden mussten. Da technische Objekte im Allgemeinen jedoch mit minimalen Abweichungen angefertigt werden sollten, sind die Abweichungen des Ultimaker 2 an sich zu hoch. Sie zeigen, dass der Ultimaker 2 nicht die notwendige Präzision liefern kann, die für technische Objekte in der Regel erforderlich 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 auf den Ultimaker 2, der im Kapitel 2.5 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 besitzen. 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 erhält man ein Ellbogengelenk, wodurch verschiedene Armhaltungen möglich sind.

4.2 Entwurf

Das im vorigen Abschnitt beschriebene dreidimensionale Strichmännchen wird mithilfe der Software Blender (Kapitel 2.4.1) modelliert, indem verschiedene geometrische Grundkörper zusammengesetzt werden. Abbildung 4.1 zeigt einen Screenshot des modellierten Männchens in Blender. Sowohl Zylinder als auch Kugeln werden in Blender als Grundkörper zur Verfügung gestellt. Durch Skalierung und Verformung können die Grundkörper verändert und durch Translation in die gewünschte Position gebracht werden.

Wenn sich alle Grundkörper an der gewünschten Position befinden, markiert man sie und fügt sie zu einer Gruppe zusammen. Diese Gruppe kann dann als STL-Datei gespeichert werden. Ohne die Vereinigung zu einem einzigen Objekt exportiert Blender nur den aktuell als aktiv markierten Körper.



Abbildung 4.1: Design des organischen Objekts

4.3 Druck des Objekts

Im Gegensatz zum technischen Objekt (Kapitel 3), bei dem die Genauigkeit des Drucks sehr wichtig ist, liegt beim organischen Objekt der Fokus darauf, wie gut der Ultimaker 2 gewölbte Flächen drucken kann.

Zu Testzwecken wird das Objekt in zwei verschiedenen Positionen gedruckt. Einmal wird das Männchen liegend auf der Druckplatte positioniert, einmal stehend. Dadurch kann untersucht werden, ob es einen Unterschied macht, wie das Objekt platziert wird.

Das liegende Männchen hat insgesamt mehr Auflagefläche als das stehende Männchen, wodurch es allerdings auch durch mehr Supportstrukturen gestützt werden muss. Dafür muss nicht weit nach oben gedruckt werden und es müssen keine Überhänge gedruckt werden.

Das stehende Männchen hat insgesamt weniger Kontakt mit der Druckplatte, benötigt aber dennoch kaum Supportstrukturen, da es mit den unten glatten Beinen auf der Platte

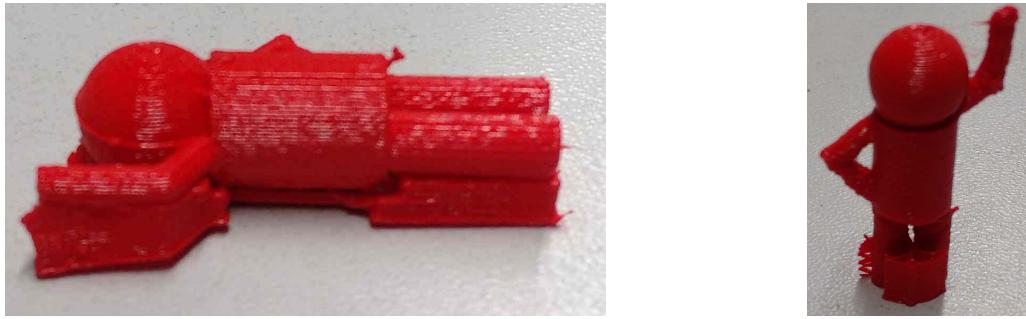


Abbildung 4.2: Druck des organischen Objekts in verschiedenen Positionierungen

steht. Dafür müssen hier für die Arme und den Kopf teilweise relativ starke Überhänge gedruckt werden.

Abbildung 4.2 zeigt die beiden mit verschiedenen Positionierungen gedruckten Männchen.

Die Überhänge des stehenden Männchens sind gut gelungen, sogar ohne durch Supportstrukturen abgestützt zu werden. Die vergleichsweise geringe Auflagefläche auf der Druckplatte stellt kein Problem dar, da die Füße einen guten Halt bieten. Auch die Kugel, die den Kopf des Männchens darstellt, ist gut und rund geworden.

Beim liegenden Männchen dagegen sind viele Supportstrukturen nötig, damit es genügend Auflagefläche auf der Druckplatte besitzt. Diese Strukturen lassen sich nur schwer und nicht rückstandslos vom Objekt lösen. Auffällig ist zudem, dass die Kugel, die den Kopf darstellt, eine starke Kante in der Mitte aufweist.

Allgemein ist das stehende Männchen deutlich besser gelungen als das liegende.

4.4 Fazit: Eignung für organische Objekte

In diesem Kapitel werden das Design und der Druck eines organischen Objekts, also eines Objekts, die viele runde Flächen besitzt, beschrieben. Anhand des Drucks eines dreidimensionalen Strichmännchens mit dem Ultimaker 2 lässt sich sagen, dass der Ultimaker 2 prinzipiell geeignet ist, um organische Objekte zu drucken.

Die runden Flächen des dreidimensionalen Strichmännchens, insbesondere die Kugel, die den Kopf darstellt, sind gut gelungen. Solange sie nicht zu starke Überhänge aufweisen, kann der Ultimaker runde Flächen überzeugend drucken.

Allerdings sollte das zu druckende Objekt genügend gerade Flächen besitzen, mit denen es auf der Druckplatte platziert werden kann. Ein Objekt mit einer abgerundeten Fläche auf der Druckplatte zu platzieren und mit Supportstrukturen abzustützen ist nicht empfehlenswert. Wie sich bei dem liegend gedruckten Männchen gezeigt hat, lassen sich diese Supportstrukturen kaum rückstandslos vom Objekt trennen.

5 Aufgetretene Fehler beim Drucken

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über Fehler, die beim Drucken mit dem Ultimaker 2 auftreten sind. 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. Eine Auflistung verschiedener möglicher Fehler und Lösungen für die verursachenden Probleme findet sich im Troubleshootingguide. [1]

5.1 Hardware-Defekte

Der folgende Abschnitt behandelt Fehler, deren Ursache in Fehlern an der Hardware des Druckers zu finden ist. Die hier beschriebenen Fehler sind schwerwiegend. Oftmals musste zur Behebung der Fehlfunktion ein Bauteil ersetzt werden.

5.1.1 Verschleiß der Polytetrafluorethylen (PTFE)-Kopplung

Die Düse des Ultimakers ist zwar aus Metall gefertigt, aber das Filament gelangt durch eine PTFE-Kopplung in die Düse. Dadurch, dass die Kopplung in der Nähe des Heizblocks sitzt, wird sie beim Drucken ebenfalls erhitzt. Das Material der Kopplung erweicht bei den Drucktemperaturen stark. Eine Verformung ist leicht möglich.

Eine Verformung führt dazu, dass das Filament nicht mehr ungehindert durch die Kopplung in die Düse gelangen kann. Die erhöhte Reibung kann zur Filament-Unterförderung führen, wodurch der Druck scheitern kann. Deshalb sollte die PTFE-Kopplung regelmäßig begutachtet und bei Defekten ausgetauscht werden.



Abbildung 5.1:
Ausgebaute PTFE-Kopplung

5.1.2 Fehlfunktion des Temperatursensors

Im Heizblock ist ein Temperatursensor verbaut, sodass der Heizblock auf die eingestellte Drucktemperatur geregelt werden kann. Wenn der Sensor defekt ist, wird eine Fehlermeldung auf dem Displays des Ultimakers angezeigt.

Tritt die Fehlermeldung einmalig auf, kann es sein, dass sie versehentlich gesendet wurde. In diesem Fall hilft es, den Drucker aus- und wieder einzuschalten und den Druck neu zu starten. Wenn die Meldung oft hintereinander auftritt, muss jedoch der Temperatursensor ausgetauscht werden.

Den Temperatursensor auszutauschen ist relativ aufwändig. Einerseits muss der gesamte Druckkopf demontiert werden, um an den Heizblock zu gelangen. Die Kapsel mit dem Temperatursensor muss vorsichtig aus dem Heizblock gezogen werden. Da der Sensor direkt mit dem Steuergerät am Boden des Ultimakers verbunden ist, müssen der defekte Sensor und der Ersatz durch die Kabelführungen bis zur Unterseite geführt werden. Dort muss der neue Sensor angeschlossen werden.



Abbildung 5.2: Fehlermeldung des Temperatursensors

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. Beschädigungen auf der Innenseite des Bowdenzuges durch scharfkantiges Filament verstärken den Prozess.

5.1.4 Gebogene Heizplatte

Die Glasplatte, auf der die Objekt gedruckt werden, liegt auf der metallenen Heizplatte auf. Die Glasplatte sorgt für eine ebene Druckfläche. Jedoch ist die Glasplatte herstellungsbedingt nicht perfekt eben und die Heizplatte hängt mittig durch. Beides führt dazu, dass die Glasplatte nicht flächig auf der Heizplatte aufliegen kann.

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 Heizblock von Material verklebt

Wenn die Düse außen verschmutzt oder beschädigt ist (5.2.5), kann es in extremen Fällen dazu führen, dass sich eine dicke Schicht aus Filament um den Heizblock bildet. Das Filament hat hierbei eine größere Adhäsion an der Düse als am Druck. Als Folge fließt das Filament um Heizblock und Düse und kann sogar in den Raum oberhalb der Düse gelangen. Abbildung 5.3 zeigt den eingetretenen Fall.



Abbildung 5.3: Filament um Heizblock

Dadurch, dass eine dicke Schicht aus Kunststoff den Heizblock umgibt, wird bei folgenden Drucken Energie verschwendet, um diese Schicht zu erwärmen. Dadurch kann das Filament an sich nicht mehr genug erhitzt werden, um gut damit drucken zu können. Es ist nahezu unmöglich, die komplette Schicht wieder zu entfernen. Trotz allem bleiben Rückstände am Heizblock zurück, die spätere Drucke beeinträchtigen können. Abbildung 5.4 zeigt ein weiteres Problem nach dem Verkleben: Das Austauschen des Heizblockes war nur schwer möglich, da das Filament auch in die Spalte zwischen Heizblock, Temperatursensor und der Heizkapsel geflossen ist. Die Entfernung war nur nach Erhitzen des Heizblockes möglich.



Abbildung 5.4: Ausgebauter Heizblock

5.2 Fehler während des Druckens

In diesem Kapitel werden Fehler beschrieben, die häufiger während des Drucken auftreten. Sie sorgen in aller Regel für ein Misslingen des Drucks. Im Gegensatz zu den Fehlern, die in Kapitel 5.1 beschrieben wurden, sind die hier beschriebenen Fehler weniger schwerwiegend.

Zum Beispiel kann durch ein Verändern der Druckparameter verhindert werden, dass diese Fehler bei einem weiteren Druck erneut auftreten. Zudem ist in der Regel kein kompletter Austausch einzelner Hardwareteile nötig.

5.2.1 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. 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

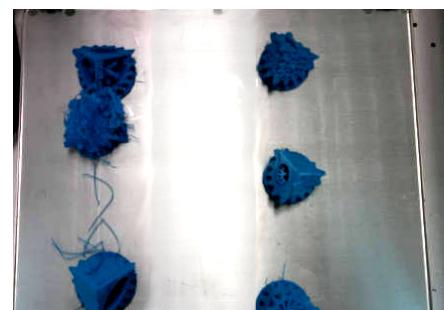


Abbildung 5.5: Beispiel für mangelnde Haftung: Das Objekt links in der Mitte wurde hinter dem Druckkopf hergezogen

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 mittlerweile eine Druckplatte an, die speziell beschichtet ist und dadurch eine bessere Haftung ermöglichen soll.

5.2.2 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.

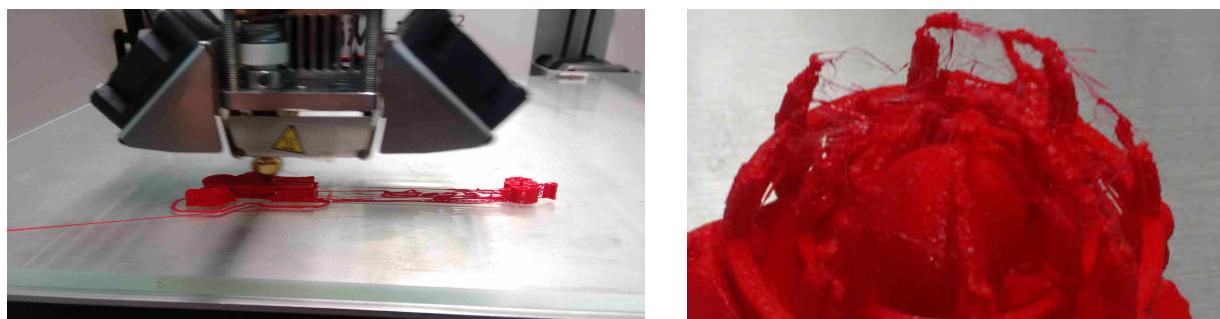


Abbildung 5.6: Beispiele für Stringing

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 in der Düse ist, einen Faden und wird vom Druckkopf mitgezogen.

5.2.3 Filament-Unterförderung

Ein Grund, warum der Druck von Objekten misslingen kann, ist ein zu geringer Filament-Fluss. Dadurch, dass zu wenig Filament zur Verfügung steht, werden die gedruckten Linien zu dünn oder können gar nicht gedruckt werden. Wenn dieser Fehler auftritt, muss der Druck in aller Regel abgebrochen werden; denn selbst wenn in höheren Schichten wieder genug Material fließt, kann dieses auf fehlenden Linien nicht haften.

Es kann verschiedene Gründe dafür geben, dass zu wenig Material fließt. Einerseits kann

eine Fehlfunktion des Feeders vorliegen (Kap. 5.4.3) oder die Reibung im Bowdenzug (Kap. 5.1.3) ist zu hoch. Möglicherweise ist die Reibung auch wegen einer Verformung der PTFE-Kopplung erhöht (Abb. 5.1) oder in der Düse befinden sich noch Verschmutzungen, beispielsweise verbrannte Materialreste von früheren Drucken (Kap. 5.2.5).

Eventuell tritt der Fehler auch wegen schlecht gewählten Parametern (Kap. 5.3) auf. Dabei kann es sein, dass die Temperatur zu gering gewählt wurde, wodurch das Material nicht flüssig genug für den Druck ist. Ein weiterer Grund kann sein, dass die Druckgeschwindigkeit zu hoch eingestellt wurde und der Drucker nicht in der Lage ist, das Filament schnell genug zu fördern.

5.2.4 Grinding

Das Grinding ist ein Fehler, der im Feeder auftritt. Es wird durch andere Fehlfunktionen des Druckers ausgelöst und ist somit eigentlich eine Folge dieser Fehler. Das Grinding selbst kann wiederum weitere schwere Fehler auslösen.

Die Ursache für das Grinding ist, dass das Filament nicht so schnell förderbar ist, wie es nötig wäre. Der Feeder arbeitet einem zu hohen Gegendruck entgegen, zum Beispiel weil eine zu hohe Reibung im Bowdenzug (5.1.3) oder Druckkopf vorhanden ist oder weil das Material nicht stark genug erhitzt wird und dadurch zu zähflüssig aus der Düse austritt.

Der Feeder fördert jedoch weiterhin mit der eingestellten Geschwindigkeit. Dadurch frisst er sich in eine einzelne Stelle des nicht mehr fließenden Materials. Als Folge kann der Feeder das Material überhaupt nicht mehr fördern, da er nicht mehr den nötigen Anpressdruck an das Material hat.

Durch das Ausbleiben von neuem Material wird im Druckkopf eine gleichbleibende Filamentmenge erhitzt. Dieses kann unter Umständen verbrennen und dadurch Rückstände in der Düse hinterlassen (5.2.5).

5.2.5 Verschmutzte Düse

Sowohl innerhalb als auch außerhalb der Düse können Filamentrückstände von früheren Drucken verbleiben. In der Düse können unter anderem Reste von verbranntem Filament verbleiben, beispielsweise verursacht durch Grinding (Kap. 5.2.4). Diese Rückstände behindern den Materialfluss durch die Düse. Als Gegenmaßnahme kann man mit einer dünnen Nadel die aufgeheizte Düse von innen haftendem Material befreien.

An Rückständen an der Außenwand der Düse kann das Filament der nächsten Drucke haften. Der im Normalfall senkrecht aus der Düse austretende Materialfluss kann umgelenkt werden und beispielsweise den Heizblock umfließen (vgl. Kapitel 5.1.5).

5.2.6 Druckergebnisse abhängig von Druckposition

Abhängig von der Position auf der Druckplatte, an der dasselbe Objekt zum Drucken platziert wird, ergeben sich 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 (vgl. Kap. 5.1.4), kann es sein, dass verschiedene Positionen unterschiedlich gut erhitzt werden. An manchen Positionen haftet das Objekt somit schlechter. Eine weitere Ursache kann sein, dass der Klebstoff, der die Haftung des Filaments auf der Druckplatte verbessern soll, nicht gleichmäßig aufgetragen wurde (vgl. Kap. 5.2.1).

Dass an manchen Positionen zu wenig Filament gefördert wird kann daran liegen, dass der Widerstand im Bowdenzug variiert, je nachdem, wie stark der Bowdenzug gekrümmmt ist (vgl. Kap. 5.2.3 und 5.1.3).

5.2.7 Keine Haftung zwischen den Schichten

Ein weiterer möglicher Fehler 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. Eine andere Ursache kann sein, dass die Temperatur zu niedrig eingestellt ist. Dadurch schmilzt das Filament nicht stark genug und kann sich schlechter mit den unteren Schichten verbinden. Zudem kann dieser Fehler auftreten, wenn zu wenig Material fließt, wie in Kapitel 5.2.3 beschrieben.

5.3 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.

5.3.1 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. Supportstrukturen, die für eine größere Auflagefläche des Objekts sorgen sollen, sind beispielsweise Raft oder Brim. In Abb. 5.7 sind ungeeignete Supportstrukturen dargestellt. Der Support am linken Objekt bildete starke Säulen aus, die so dicht an der eigentlichen Wand platziert waren, dass sie mit einer Zange nur schwer durchtrennbar waren. Beim rechten Bild sorgte die runde Unterseite des Objekts für eine vollständige Abstützung der Fläche, welche stark mit dem Objekt verwachsen war.

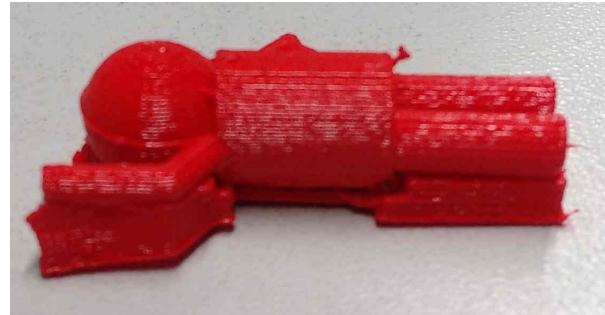
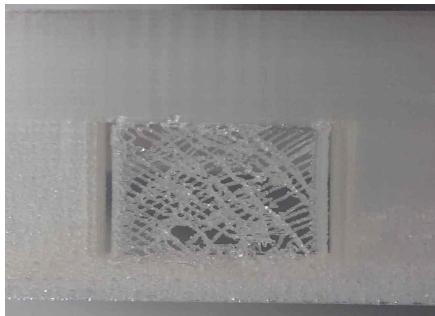


Abbildung 5.7: Beispiele für ungeeignete Supportstrukturen

5.3.2 Geschwindigkeit

Eine schlecht gewählte Geschwindigkeit kann Fehler beim Drucken verursachen. Wenn die Geschwindigkeit zu hoch eingestellt ist, kann es passieren, dass der Feeder nicht genügend Material fördern kann (vgl. Kapitel 5.2.3). Zudem kann es sein, dass das Material nicht genügend Zeit hat, sich mit den unteren Schichten zu verbinden. Dadurch kann die Stabilität des Objekts leiden. Insbesondere bei kreisförmigen Strecken kann der Druck zudem unsauber werden.

5.3.3 Wanddicke

Allgemein kann der Drucker lediglich Wände drucken, die mindestens so breit sind wie die Größe der Düse. Aber auch druckbare dünne Wände, deren Breite nicht deutlich größer des Düsendurchmessers ist, können zu Problemen führen.

5.3.4 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 niedrigeren Temperaturen verschmelzen die einzelnen Schichten nicht gut miteinander und dem gedruckten Objekt sind die einzelnen Schichten deutlich anzusehen.

Bei zu hoher Temperatur kann es passieren, dass das Filament verbrennt und Rückstände in der Düse bildet, was insbesondere bei Verwendung des Materials ABS auftreten kann.

5.4 Weitere Fehler

In diesem Kapitel werden sonstige Fehler beschrieben, die neben den vorigen Kapiteln aufzuzählen sind.

5.4.1 Falsche Kalibrierung

Die Druckplatte sollte regelmäßig kalibriert werden. Bei einer schlechten Kalibrierung sind der Abstand zwischen Düse und Druckplatte und die Neigung der Druckplatte nicht optimal eingestellt.

Dies kann zu schlechter Haftung des Materials auf der Druckplatte führen. Außerdem leidet die Genauigkeit der Drucke unter der mangelnden Kalibrierung, da beispielsweise Linien oder Kreise nicht gerade beziehungsweise kreisförmig verlaufen.

Im Menü des Ultimaker 2 kann eine Funktion zur Kalibrierung aufgerufen werden. In einem ersten Schritt findet eine Grobjustierung statt, im zweiten Schritt folgt die Feinjustierung. Im Idealfall werden Messhöhen - also Metallplättchen, deren Höhe exakt bekannt ist - zur Kalibrierung verwendet.

Es gibt drei verschiedene Punkte, an denen justiert werden kann: Zunächst wird die allgemeine Höhe der Druckplatte in Bezug zur Düse eingestellt. Im Anschluss werden die beiden vorderen Ecken der Druckplatte mithilfe von Schrauben verstellt, sodass sie jeweils bezogen zur Düse den idealen Abstand haben.

5.4.2 Probleme abhängig von Filamenteigenschaften

Je nachdem, welche Art von Plastik als Filament verwendet wird, weist es verschiedene Eigenschaften auf. Beispielsweise sind die geeigneten Drucktemperaturen für PLA und ABS unterschiedlich.

Aber auch bei unterschiedlichen Filamentrollen von PLA fallen Unterschiede auf.

Eine Rolle spielt dabei die Lagerung der Filamentrollen. Wenn das Filament längere Zeit an der Luft gelagert wird, wird es zunehmend spröde und bekommt somit schlechtere Druckeigenschaften.

Auch die Farbe des Filaments hat Auswirkungen auf die Eigenschaften des PLA. Das liegt daran, dass die beigemischten Farbstoffe die Materialeigenschaften zusätzlich beeinflussen.

Bei den in dieser Studienarbeit verwendeten Filamenten beispielsweise erwies sich das rote Material als am besten geeignet. Dagegen war das schwarze Filament von Beginn an auffallend spröde - auch ohne lange an der Luft gelagert worden zu sein. 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.

Abbildung 5.8 verdeutlicht die verschiedenen Eigenschaften von rotem und durchsichtigem Filament. Beide Male wurde dasselbe Objekt mit denselben Druckparametern gedruckt. Während das rote Objekt stabil und gut gedruckt wurde, halten beim durchsichtigen Filament die Linien nicht gut zusammen.

Die Farbe des Filaments beeinflusst also auch, wie stark die Haftung des Materials an sich selbst ist.

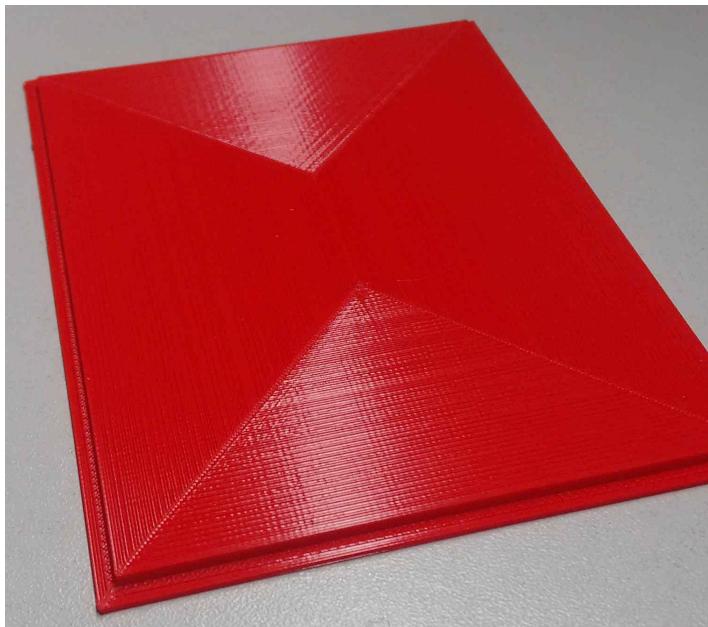


Abbildung 5.8: Dasselbe Objekt mit rotem (links) und durchsichtigem (rechts) Filament

5.4.3 Elektrische Spannung am Feeder

Die elektrische Spannung, mit der der Feeder-Motor angesteuert wird, kann im Menü des Ultimaker 2 eingestellt werden. Das Drehmoment des Schrittmotors kann dadurch variiert werden. Je nach Einstellung kann das Drehmoment zu gering sein. Die Förderleistung nimmt dadurch ab und kann zu Unterförderung führen.

5.4.4 Anpressdruck im Feeder

Mit einer Schraube kann der Anpressdruck im Feeder angepasst werden. Der Druck sollte so gewählt werden, dass der Feeder das Filament gut fördern kann, ohne zu sehr in das Plastik einzudrücken.

Wenn der Druck zu gering gewählt ist, kann der Feeder das Filament nicht fördern. Ist der Druck zu hoch eingestellt, kann es sein, dass zuviel Druck auf das Filament aufgebaut wird. Dadurch wird das nötige Drehmoment erhöht und es kann zur Verformung des Materials kommen. Im Druckkopf kann ein verformtes Material die Heizleistung nicht effizient aufnehmen. Der vom Feeder aufzubringende Druck nimmt zu.

5.4.5 Unsauber aufgerolltes Filament

Manchmal kommt es vor, dass das Filament nicht sauber auf der Rolle aufgewickelt ist. Dadurch wird es schwerer für den Feeder, das Filament von der Rolle abzurollen. Im schlimmsten Fall kann es passieren, dass sich das Filament verknotet und es zum Grinding (Abschnitt 5.2.4) kommt der Druck abgebrochen werden muss.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Studienarbeit, das Entwerfen und Drucken eines technischen und eines organischen Objekts mit dem Ultimaker 2, wurde erreicht.

Zusätzlich wurden neben den in Kapitel 3 und 4 beschriebenen Objekten einige Objekte gedruckt, die nicht selbst designt waren.

Ein Großteil der Arbeitszeit verlor sich in der Fehlersuche und -behebung. Ein großer Teil der Drucke scheiterte an sich ähnelnden Fehlern wie zum Beispiel zu wenig gefördertem Material oder zu geringer Haftung am Druckbett. Beides lässt auf mechanische Probleme des Druckers schließen.

6.1 Technisches Objekt

Als technisches Objekt wurde ein Aufbewahrungssystem für einen Raspberry Pi, der mit einer Festplatte und einem USB-Hub gekoppelt ist, entworfen. Dieses System wurde in Solid Edge mit den korrekten Bemaßungen designt.

Einige der Komponenten des Aufbewahrungssystems mussten wegen Fehldrucken mehrfach gedruckt werden. Zudem war es nötig die Bemaßungen anzupassen, da anfangs die Präzision des Druckers überschätzt wurde und die Komponenten deshalb nicht ineinander passten.

Letztlich gelang es jedoch, sämtliche Komponenten des Aufbewahrungssystems erfolgreich zu drucken. Es wird von uns eingesetzt und stellt eine erhebliche Verbesserung zu dem davor verwendeten System dar.

6.2 Organisches Objekt

Das dreidimensionale „Strichmännchen“, das als organisches Objekt in Blender entworfen wurde, konnte ebenfalls gedruckt werden. Während des Drucks wurden verschiedene Positionierungen des „Männchens“ auf der Druckplatte - liegend und stehend - getestet.

Die runden Formen benötigten in der liegenden Positionierung eine Stützstruktur. Diese war nur schwer vom Objekt lösbar, da sie über eine größere Fläche mit dem Objekt verbunden war. Beim Entfernen wurde die Oberfläche des Objekts unter der Stützstruktur beschädigt. Bei Objekten mit ebenen Auflageflächen treten diese Probleme nicht auf.

Das Design des Strichmännchens kann weiter verfeinert werden, indem Merkmale wie Gesichtszügen oder Kleidung ausgeprägt werden.

6.3 Upgrade des Druckers

Zusätzlich zu den beschriebenen Objekten wurde der Olsson-Block in den Ultimaker 2 eingebaut. Dieser erleichtert es, die Druckdüsen auszutauschen. Dadurch kann die Größe der Druckdüse einfacher variiert werden.

Folgende Studienarbeiten könnten sich mit den Vorzügen von wechselbaren Düsen beschäftigen.

6.4 Fazit zu additiven Fertigungsverfahren

Für den Privatgebrauch lohnt sich ein 3D-Drucker des heutigen Entwicklungsstands kaum. Die Drucktechnologie ist nicht ausgereift genug, um wartungsarm betrieben zu werden. Weitere Gründe sind die langen Druckzeiten, die aufwändigen Vorbereitungen bis zum Druck (ein Objekt muss gesucht oder designt werden) und die geringen Baugrößen der heutigen kostengünstigen Drucker. Zudem ist momentan die Notwendigkeit von gedruckten Objekten im Heimgebrauch eher fraglich.

Diese Faktoren degradieren den Drucker im Heimgebrauch zum Werkzeug für TüftlerInnen, die auch gerne Zeit in die Fehlerbehebung investieren.

Falls nicht das Drucken als Hobby im Vordergrund steht, können Drucke in nächster Zukunft auch in den vielzähligen Druck-Shops beauftragt werden.

Da die Idee des privaten 3D-Druckers erst allmählich in die Massentauglichkeit übergeht, werden in naher Zukunft möglicherweise Anwendungsfälle für die private Anschaffung entstehen. Zukünftige Entwicklungen der additiven Fertigung werden diese Möglichkeiten aufzeigen.

Bei professionellen Entwicklungen sind additive Fertigungsverfahren schon heute schwer wegzudenken. Entwicklungsabteilungen können mit Druckern erste Prototypen entwerfen, die im Verhältnis zu herkömmlichen Fertigungsverfahren deutlich weniger Arbeitszeit erfordern. Mittlerweile können mit Sinter-Verfahren auch belastbare Prototypen aus Metall erstellt werden.

Ferner ermöglichen additive Herstellungsverfahren bisher unmögliche Konstruktionen. Beispielsweise wurde ein neuartiger Greifarm entwickelt, der in verschiedene Raumrichtungen geneigt werden und dort mit seinem Greifer Objekte fixieren kann [8]. Die interne Kammerstruktur, die die Neigungen ermöglicht, kann nur in einem additiven Verfahren erzeugt werden.

Der Sprung vom Prototypenbau hin zur Serienfertigung mit additiven Verfahren ist vor allem eine Frage der Druckgeschwindigkeit. Momentane Systeme benötigen mehrere Stunden pro Objekt. Kleinserien sind in dieser Geschwindigkeit denkbar, jedoch ist eine Massenproduktion schwer realisierbar. Ein Grund zum Einsatz für Serienproduktionen ist die individuelle Fertigung auf Kundenwunsch. Anstatt mehrere Varianten auf Vorrat zu fertigen, könnten automatisierte Drucksysteme die Individualisierungen direkt im Fertigungsprozess berücksichtigen.

6.5 Schlussbetrachtung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der 3D-Druck als additives Fertigungsverfahren momentan noch in den Kinderschuhen steckt. Aktuelle Systeme benötigen einen hohen Zeit- und Wartungsaufwand. Außerhalb des Entwicklungssektors ist der Einsatz noch fraglich, da nur wenige sinnvolle Anwendungen verfügbar sind.

Im Privatgebrauch ist ein 3D-Drucker im Moment nur als Hobby anzusehen.

Möglicherweise wird die Technologie in wenigen Jahren weit genug entwickelt sein, um sinnvolle Anwendungen zu bieten. In diesem Falle wird auch in unseren Kellern bald ein 3D-Drucker zu finden sein.

7 Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] 3DVERKSTAN: *Troubleshooting-Guide mit vielfältiger Auflistung von Fehlern und Abhilfemaßnahmen.* <http://support.3dverkstan.se/article/23-a-visual-ultimaker-troubleshooting-guide>,
- [2] 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
- [3] ANETTE ZWAHR u.A.: *Meyers großes Taschenlexikon*. 2006
- [4] BLENDER FOUNDATION: *Website von Blender*. <https://www.blender.org/>,
- [5] CHRISTEN, H. R.: *Chemie*. Sauerländer, 1974
- [6] DOMINIK RIETZEL, FLORIAN KÜHNLEIN, DIETMAR DRUMMER: *Selektives Lasersintern von teilkristallinen Thermoplasten*.
<https://www.rtejournal.de/ausgabe6/3113/pdfversion.pdf>, 2009
- [7] FASTERMANN, P. : *3D-Druck/Rapid Prototyping. Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt*. Springer-Verlag, 2012
- [8] FESTO AG & Co. KG: *Bionic Handling Assistant*. https://www.festo.com/net/supportportal/files/42050/brosch_fc_bha_3_0_en_lo.pdf,
- [9] GEBHARDT, A. : Grundlagen des Rapid Prototyping. In: *RTejournal* 1 (2004), Nr. 2004
- [10] HAGL, R. : *Das 3D-Druck-Kompendium: Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*. Springer-Verlag, 2014
- [11] HOT-WORLD GMBH & Co. KG: *Website des Repetierhosts*.
<https://www.repetier.com/>,
- [12] 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,
- [13] LACHMAYER, R. ; LIPPERT, R. B. ; FAHLBUSCH, T. : 3D-Druck beleuchtet.

-
- [14] SIEMENS AG: *akademische Version von Solid Edge.*
https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/academic/resources/solid-edge/student-download.cfm,
 - [15] ULTIMAKER B.V.: *Beta-Edition von Cura.*
http://software.ultimaker.com/Cura_closed_beta/,
 - [16] ULTIMAKER B.V.: *Bild des Ultimakers 2+.* <https://ultimaker.com/download/247/Ultimaker%202%20Go%20Press%20kit.zip>,
 - [17] ULTIMAKER B.V.: *offizielle aktuelle Cura-Version.*
<https://ultimaker.com/en/products/cura-software>,
 - [18] ULTIMAKER B.V.: *Ultimaker-Website.* ultimaker.com,