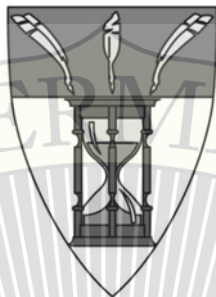


Les travaux personnels du Lycée Ermesinde Mersch

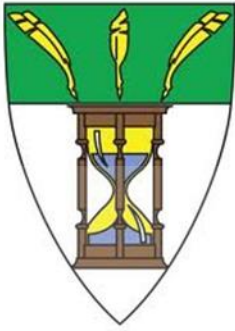


# Die Faszination des 3D-Drucks

Lukas Grün

Classe : 4CLA3  
Tutrice : Luc Azzeri  
Semestre : 1

Mars 2016

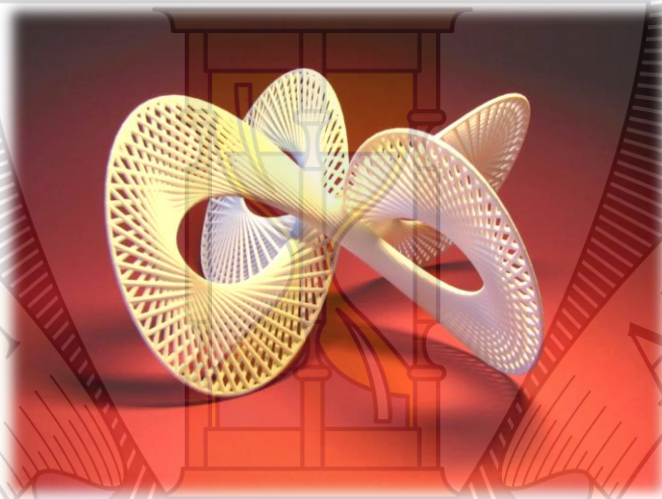


Travail personnel

2015/2016

4ième classique 3

## **DIE FASZINATION DES 3D-DRUCKS**



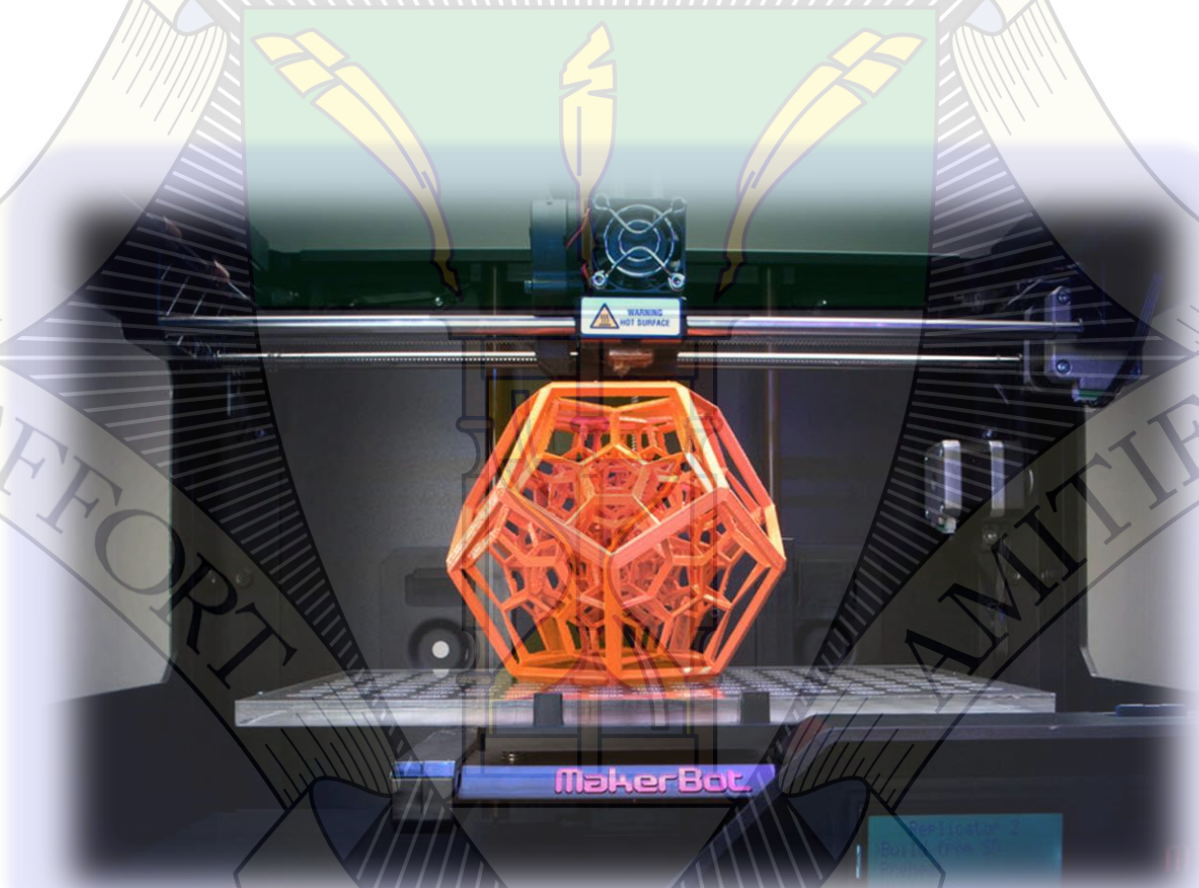
In den letzten Jahren hat sich der 3D-Druck rasant entwickelt. Ich interessiere mich sehr für die eingesetzten Technologien und die Möglichkeiten, die sich durch den 3D-Druck ergeben. In meiner Arbeit werde ich zuerst allgemein auf den 3D-Druck eingehen, dann verschiedene Druckverfahren beschreiben sowie derzeitige und zukünftige Projekte vorstellen. Im zweiten Teil meiner Travail personnel präsentiere ich meinen eigenen 3D-Drucker, welchen ich im Rahmen dieser Arbeit in der Entreprise Architecture gebaut habe.

# Inhaltsverzeichnis

<u>Teil 1: Allgemeines über den 3D-Druck</u>	Seite 2-23
1. Entstehung des 3D-Drucks	Seite 3
2. Verschiedene Arten von 3D-Druckern und deren Funktionsweise	Seite 5
2.1. Schmelzschichtverfahren / Fused Deposition Modeling (FDM)	Seite 6
2.2. Stereolithografie	Seite 7
2.3. Selektives Lasersintern (SLS)	Seite 8
2.4. Pulver-Druckverfahren	Seite 9
3. Verschiedene FDM-Drucker	Seite 10
3.1. Klassische FDM-Drucker	Seite 11
3.2. Delta-Drucker	Seite 12
3.3. Unterschiede zwischen klassischen und Delta-Druckern	Seite 13
3.3. Druckmaterial	Seite 14
4. Einsatzbereiche	Seite 15
5. Zukunftsprojekte	Seite 19
6. Abschluss Teil 1	Seite 23
<u>Teil 2: Dokumentation des Baus meines eigenen 3D-Druckers</u>	Seite 24-54
1. Bau des Druckers	Seite 25
2. Anschließen und Kalibrieren des Druckers	Seite 42
3. Erste Druckversuche	Seite 47
4. Konklusion	Seite 54
<u>Quellenangabe</u>	Seite 55-56

# Teil 1

## Allgemeines über den 3D-Druck





## Kapitel 1: Entstehung des 3D-Drucks

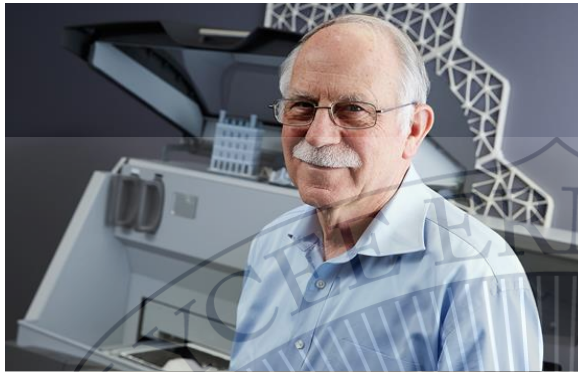


Abbildung 1.1.: Der „Vater des 3D-Drucks“ Chuck Hull

Der erste 3D-Drucker wurde 1983 vom US-Amerikaner Chuck Hull (eigentlich Charles W. Hull) gebaut. Er wurde am 12. Mai 1939 geboren. Im Jahr 1986 ließ er seine 3D-Technologie, die er Stereolithografie nannte, patentieren. Außerdem gründete Chuck Hull das Unternehmen 3D-Systems in Valencia, Kalifornien. Die Funktionsweise der Stereolithographie wird in Kapitel 2 beschrieben.

Im Jahr 1989 entwickelte Scott Crump ein weiteres Fertigungsverfahren des 3D-Drucks: die Schmelzschiichtung. Er war außerdem Mitbegründer der Firma Stratasys, die bis heute 3D-Drucker vertreibt. Er ließ mehrere Patente auf seine neue Technologie anmelden, sodass Stratasys vorerst das einzige Unternehmen war, welches dreidimensionale Objekte durch Schmelzschiichtung drucken durfte (U.S. Patent 5,121,329). Die Funktionsweise der Schmelzschiichtung wird in Kapitel 2 beschrieben.

Aufgrund dieses Patents entwickelte sich das vielversprechende Schmelzschiichtverfahren nur sehr langsam weiter, da ausschließlich die Ideen des Unternehmen Stratasys umgesetzt wurden, nicht aber die der Community oder anderer Firmen. So kommt es, dass sich der 3D-Druck, obwohl die Technologien bereits relativ lange existieren, erst in den letzten Jahren stark weiterentwickelt hat. Zurückzuführen ist dies auf mehrere Punkte:

- Hauptsächlich auf den Ablauf des Patents auf das Schmelzdruckverfahren, wodurch u.a. das OpenSource-Projekt „RepRap“ ermöglicht wurde, in dem sich 3D-Druck-Begeisterte austauschen können und Drucker entwickeln, die sich sozusagen selbst reproduzieren können.
- Auf die Fortschritte in der Computerbranche, durch die erstens die Hemmschwelle der Menschen zu neuen Technologien gesunken ist und zweitens der Gebrauch von 3D-Druckern deutlich erleichtert wurde.



Abbildung 1.2.: Scott Crump, Erfinder der Schmelzschiichtung und Mitbegründer der Firma „Stratasys“.

- Auf die Faszination der Technologie; sie wurde zum Trend und viele Menschen begeistert die Vorstellung sich Produkte selbst ausdrucken zu können.
- Auf das Entstehen von 3D-Dienstleistern, durch die der Zugang zu 3D-Druckern erleichtert wurde.
- Auf die Preissenkung der 3D-Technologie, die vor allem auf technische Fortschritte durch das OpenSource-Projekt „RepRap“ zurückzuführen ist.
- Auf das Interesse von privaten Investoren und der Politik, die im 3D-Druck eine Möglichkeit sehen, die Produktion wieder ins eigene Land zu bringen.



Abbildung 1.3.: Das Logo der OpenSource „RepRap“.

Der 3D-Druck wird nicht nur in der produzierenden Industrie genutzt, sondern inzwischen auch in der Medizin, der Wissenschaft und Forschung, der Kunst-, Mode- und Schmuckproduktion, der Luft- und Raumfahrt, dem derzeit noch experimentellen Lebensmittelbereich und in der Baubranche eingesetzt. Hinzu kommt, dass sich inzwischen sowohl kleine Unternehmen für die Produktion von Kleinserien als auch Hobbybastler und Technikbegeisterte privat einen 3D-Drucker zulegen, um von seinem einfachen Produktionsverfahren zu profitieren.

In der Industrie hat der Kampf um internationale Marktanteile bereits begonnen, Hersteller streiten um Patente, Unternehmen kaufen sich gegenseitig auf. Doch es sind nicht nur riesige Unternehmen und private Firmen, die sich im Wettbewerb um den Zukunftsmarkt befinden, auch Universitäten und Regierungen beginnen bereits, Wissenschaftler und Bildungsprojekte rund um das Thema 3D-Druck zu fördern.

## Kapitel 2: Verschiedene Arten von 3D-Druckern und deren Funktionsweise

Ein 3D-Drucker funktioniert ungefähr wie ein normaler Drucker. Jedoch können gewöhnliche Drucker nur zweidimensionale Muster und Texte aus Bild- und Textdateien auf beispielsweise Papier drucken. 3D-Drucker können aus am Computer dreidimensional gezeichneten Objekten, in Form von STL-Dateien, einen dreidimensionalen Gegenstand drucken.

Ein 3D-Drucker erstellt dreidimensionale Objekte, indem er sie in Schichten zerlegt und einzeln nacheinander aufbaut. Dieses Aufteilen geschieht meistens am Computer und wird von einer Software, dem sogenannten Slicer ausgeführt. Vorstellen kann man sich das ungefähr so, als ob der dreidimensionale Gegenstand in viele zweidimensionale Scheiben, in „Layer“, geschnitten wird. „Dieses Prinzip funktioniert dabei so, als würde man eine gewisse Anzahl an Bierdeckeln (=Layer) miteinander verkleben, um einen Papierdeckel-Würfel (=3D-Objekt) zu erhalten“ (Zitat: 3druck.com).

Diese Layer werden dann in Form eines maschinenlesbaren Codes, eines sogenannten G-Codes, exportiert und an den Drucker übertragen. Den G-Code führt der Drucker aus und druckt so die einzelnen Layer. Zusammen ergeben sie das fertige Modell. Je besser das Slicing durchgeführt wird, desto perfekter ist später auch das Druckergebnis.

Ein wichtiger Unterschied gegenüber herkömmlichen Produktionsverfahren ist das neue, beim 3D-Druck angewandte Fertigungsverfahren, die sogenannte additive Fertigung. Bei herkömmlicher Herstellung wird ein Gegenstand gefräst, gebohrt, gestanzt, gedreht, ... es wird also so lange Material *entfernt*, bis die gewünschte Form erreicht ist. Bei additiver Fertigung hingegen wird ein Gegenstand nach und nach von außen aufgebaut, es wird ihm Material *hinzugefügt*. Der wesentliche Vorteil von additiver Fertigung, auch „generatives Fertigungsverfahren“ genannt, besteht darin, dass kaum Abfallprodukte entstehen. Überschüssiges Material kann meistens ohne Wiederaufbereitung und mit nur wenig Aufwand erneut verwendet werden.

Einfache 3D-Drucker für den Hausgebrauch benutzen meist Kunststoff als Druckmaterial. Jedoch gibt es heute kaum mehr Materialien, die nicht für den 3D-Druck geeignet sind. Flüssige Materialien werden Lage um Lage ausgehärtet. Gips- oder Keramikpulver wird mit einem Druckkopf schichtweise aufgebracht und dann verfestigt. Leichtbauzement oder flüssiger Lehm kann mithilfe einer Düse, ähnlich wie mit einer Sahnespritze, zum Druck eingesetzt werden. Auch Metalle und sogar Glas können zum 3D-Druck verwendet werden: in Form von Metall-, bzw. Glasstaub, der in großer Hitze geschmolzen wird und sich kurz darauf wieder verfestigt.

Es gibt verschiedene Arten von 3D-Druckern, die unterschiedliche Funktionsweisen haben, die ich in diesem Kapitel erläutern werde.



## 2.1. Schmelzschichtverfahren / Fused Deposition Modeling (FDM)

Das „Fused Deposition Modeling“ wurde von dem Unternehmen „Stratasys“ entwickelt. FDM-Drucker setzen leicht schmelzende Materialien, beispielsweise Plastik oder Wachs, zur Herstellung von Modellen ein. Dieses wird im Druckkopf bis knapp über den Schmelzpunkt erhitzt und mithilfe einer Düse ausgegeben. Gleich nach dem Austreten aus der Düse und dem Auftragen auf das Druckbett verfestigt sich das Druckmaterial wieder. Einfache Drucker für den Eigengebrauch nutzen meist dünne Plastikdrähte, auch Filament genannt, als Druckmaterial. Dieses befindet sich normalerweise auf einer Rolle ähnlich einer Kabeltrommel. Durch einen Fördermechanismus wird es mit kontrollierter Geschwindigkeit in den Druckkopf geschoben, wo es geschmolzen wird. So kann es Lage für Lage auf das Modell aufgeschichtet werden. Das Druckbett senkt sich hierbei entweder ab oder der Druckkopf wird nach oben bewegt. Die Kombination aus Fördereinheit (engl.: filament feeder) und Druckkopf (engl.: hot end) wird Extruder genannt.

Ein Nachteil der Schmelzschichtung ist, dass die Überhänge im Modell nicht einfach ins „Nichts“ gedruckt werden können. Um Überhänge trotzdem drucken zu können benötigt man Stützen im Druckobjekt, den sogenannten „Support“. Diese Stützen werden vom Computer berechnet und einfach mitgedruckt. Nach dem Abschluss des Drucks können sie entfernt werden, hinterlassen allerdings manchmal störende Abdrücke im Modell. Durch geschicktes Ausrichten des Modells im Drucker können Überhänge häufig vermieden werden.

Das Fused Deposition Modeling ist die von privaten Anwendern wohl am häufigsten verwendete Art des Druckens. In Kapitel 3 werde ich nochmals genauer darauf eingehen. Außerdem habe ich mir selbst einen Bausatz eines FDM-Druckers gekauft und zusammengebaut. Genauere Details zum Bau dieses 3D-Druckers beschreibe ich in Kapitel 8.

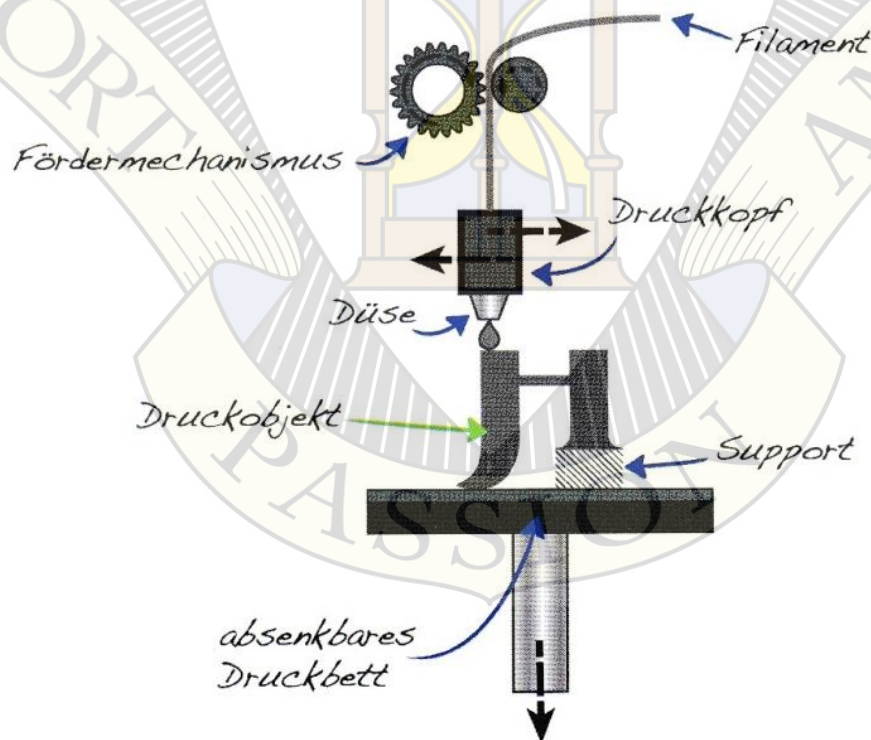


Abbildung 2.1.: Das Schmelzschichtverfahren



## 2.2. Stereolithografie

Die Stereolithografie ist das älteste 3D-Druckverfahren. Sie wurde, wie bereits im ersten Kapitel erwähnt, im Jahr 1986 erfunden. Dabei wird das Druckbett in einen Behälter mit flüssigem Kunstharz (engl.: resin), getaucht. Dieser verfestigt sich unter hoher Lichteinstrahlung. Die Bauplattform wird nun nur so tief in das Kunstharz abgesenkt, dass dabei eine hauchdünne Schicht der Flüssigkeit auf der Oberfläche entsteht. Diese ist weniger als einen Millimeter dick. Durch einen Beschichter wird sichergestellt, dass die gesamte Plattform mit dem flüssigen Druckmaterial bedeckt ist. Durch ultraviolettes Licht, durch gebündelte UV-Strahlung oder durch einen Laser wird das Kunstharz nun nur an den Stellen verfestigt, an denen sich später das Objekt befinden wird. Der aushärtende UV- oder Laserstrahl wird durch einen Umlenkspiegel gelenkt. Anschließend wird das Druckbett, auf dem sich nun bereits eine Schicht ausgehärtetes Kunstharz befindet, ein kleines Stück weiter in den Behälter mit flüssigem Kunstharz getaucht, wodurch eine zweite Schicht entsteht. Diese wird dann erneut ausgehärtet, die Plattform wird weiter abgesenkt, wodurch eine dritte Schicht entsteht, usw... bis das Modell fertig gedruckt ist. Das nicht ausgehärtete Kunstharz bleibt dabei einfach im Behälter und kann für einen späteren Druck erneut verwendet werden. Es fällt also kein Abfall an.

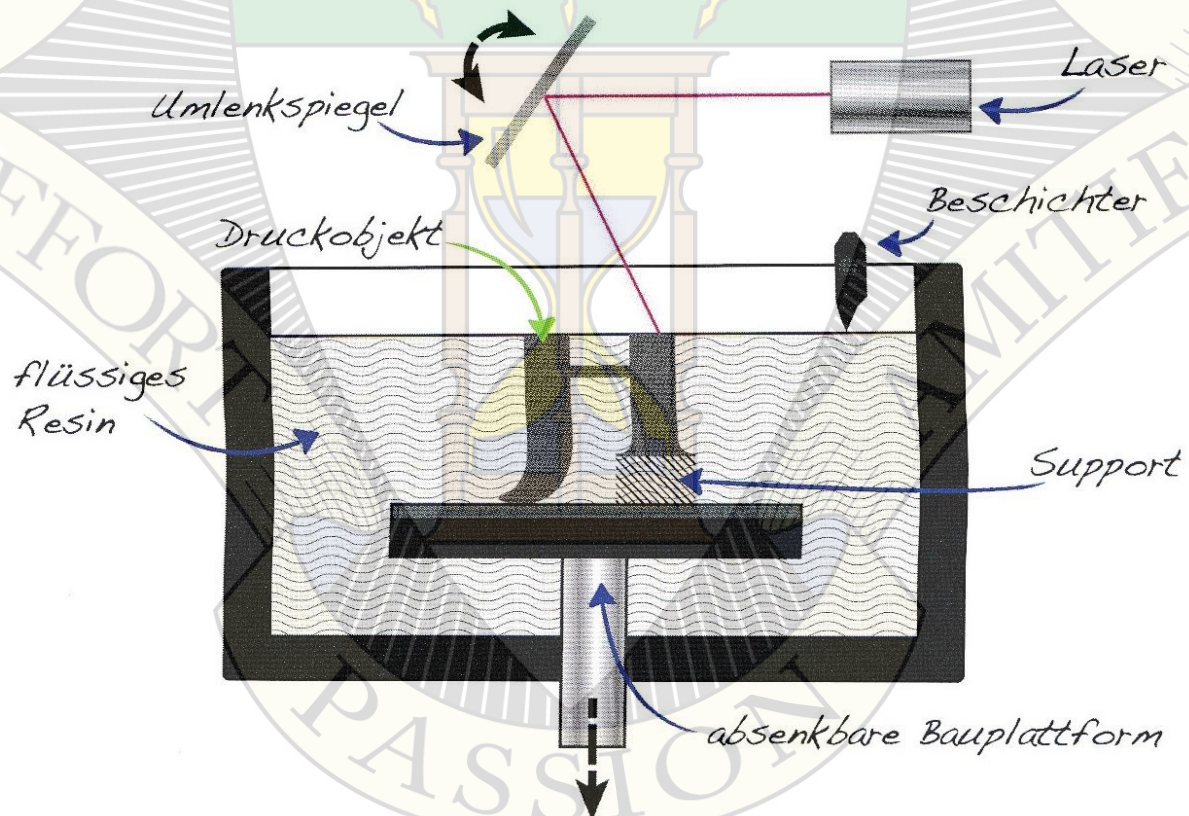


Abbildung 2.2.: Die Stereolithographie

### 2.3. Selektives Lasersintern (SLS)

Um das selektive Lasersintern zu beschreiben, muss man zuerst das Sintern an sich erklären. Beim herkömmlichen Sinterverfahren werden pulverförmige bis körnige Stoffe durch Erhitzen oberflächlich geschmolzen und dadurch zusammenwachsen gelassen. Beim selektiven Lasersintern wird das Druckbett mit einer hauchdünnen Schicht eines Materials in Pulverform, beispielsweise Kunststoff-Verbindungen, Metallen, Sand oder auch Keramik, beschichtet. Durch einen von einem Umlenkspiegel gelenkten Laserstrahl wird das Pulver nur an den Stellen gesintert, an denen sich später das Modell befinden wird. Dann wird das Druckbett abgesenkt und mithilfe einer Beschichtungseinheit wird eine neue Materialschicht aufgetragen, die erneut gesintert wird, usw.... bis das Modell fertig gedruckt ist. Auch hierbei wird das Objekt also schichtweise aufgebaut. Das fertige Modell befindet sich nach dem Ausdruck in einem Pulverblock. Dieser muss oft erst über mehrere Stunden auskühlen, bevor das Modell entnommen werden kann. Das selektive Lasersintern hat aufgrund der großen Materialauswahl und dem großen Spielraum druckbarer Objekte vor allem industriell eine große Bedeutung.

SLS-Drucker in Aktion: <https://www.youtube.com/watch?v=iT0gmXdOrto>

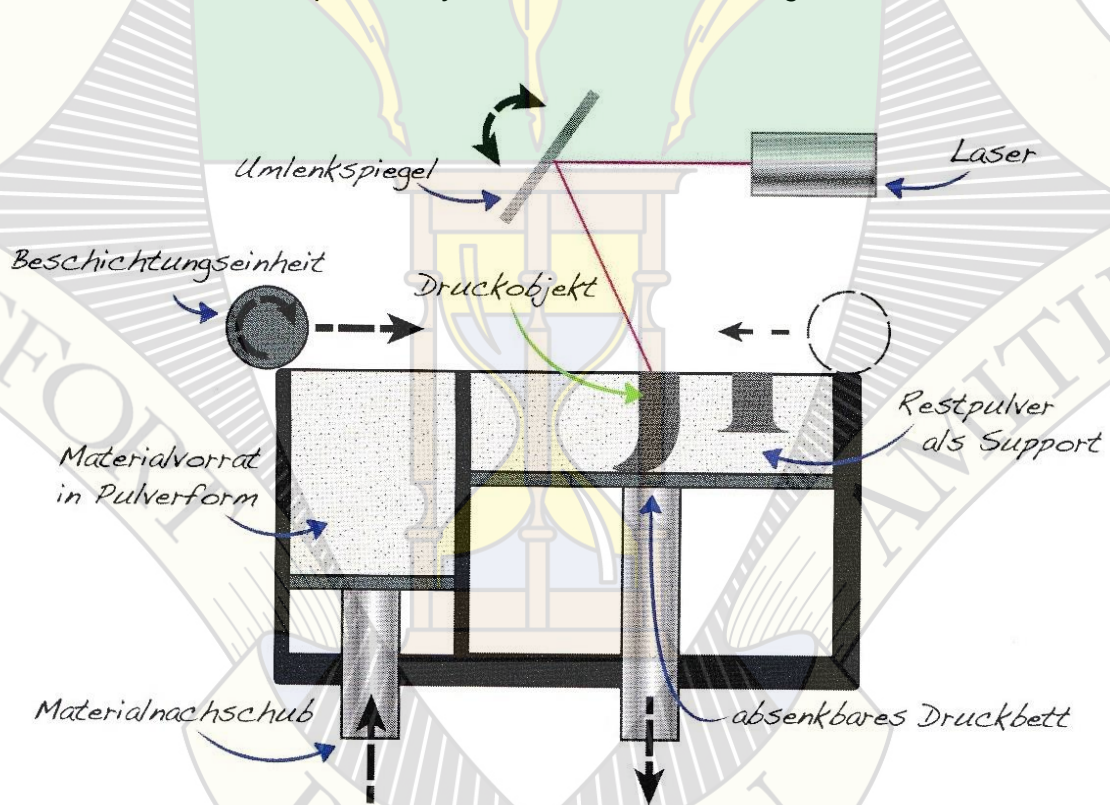


Abbildung 2.3.: Selektives Lasersintern



## 2.4. Pulver-Druckverfahren

Beim Pulver-Druckverfahren wird das dreidimensionale Modell aus zwei Komponenten erstellt, einem Pulver (z.B. Gips, verschiedene Kunststoffe oder Kalkpulver) und flüssigem Bindemittel (Klebstoff). Auf dem Druckbett wird das Pulver durch eine Beschichtungseinheit verteilt. Ein beweglicher Druckkopf verteilt nun den Binder nur an den Stellen, an denen später das Modell sein wird. Dort verfestigt sich das Pulver also. Die Druckplatte senkt sich ein Stück ab und der Vorgang wird solange wiederholt, bis das finale Modell entstanden ist. Das übriggebliebene Pulver, das nicht ausgehärtet wurde, kann nach einfacher Wiederaufbereitung erneut verwendet werden. Ein Vorteil dieser Methode des 3D-Drucks ist, dass man den flüssigen Bindemitteln sehr leicht Farben beimischen kann und dadurch farbige Objekte hergestellt werden können.

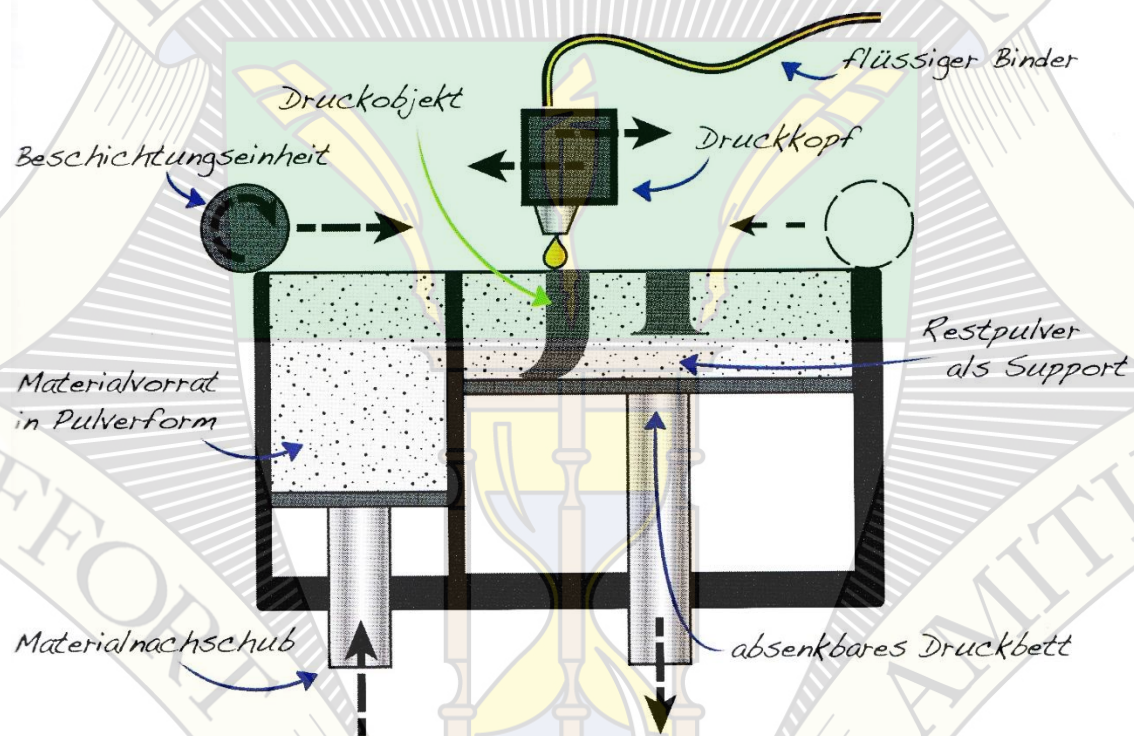


Abbildung 2.4.: Das Pulver-Druckverfahren



### Kapitel 3: Verschiedene FDM-Drucker

Da für den privaten Nutzer eigentlich nur FDM-Drucker erschwinglich sind, werde ich in folgendem Kapitel nochmal genauer auf diese eingehen.

Die Preise für FDM-Drucker sind sehr unterschiedlich (von mehreren Hundert bis mehreren Tausend Euro). Generell sind Bausätze preisgünstiger, die billigsten Modelle liegen zurzeit bei ungefähr 300 Euro. Verschiedene Drucker haben verschiedene Vorteile. Die einen haben eine hohe Druckgeschwindigkeit, andere können präziser drucken oder dünnere Schichten verarbeiten. Einen perfekten Drucker gibt es nicht, jeder hat seine Vor- und Nachteile.



Abbildung 3.1.: Professionelle 3D-Drucker (oben) - Drucker aus der „Dimension“-Serie von Stratasys liegen im Preis bei jeweils ca. 20.000 Euro.

Abbildung 3.2.: RepRap-Drucker (rechts) - Ein Drucker aus dem RepRap-Forum der unteren Klasse. Der Preis liegt hier bei ca. 300 Euro.

Die Bauart der FDM-Drucker variiert. Es gibt Drucker, die mithilfe von X-, Y- und Z-Achsen arbeiten, andere benutzen drei vertikale Achsen, an denen Elemente auf und ab bewegt werden. Diese 3D-Drucker nennen sich *Delta*-Drucker, sie sind eine noch jüngere Erfindung (2012) des in Deutschland geborenen Johann C. Rocholl. Beide Druckerarten bauen jedoch auf dem FDM-Verfahren, also auf der gleichen Grundidee, auf.

### 3.1. Klassische FDM-Drucker

Klassische FDM-Drucker arbeiten auf Basis des kartesischen Achsensystems. Sie bestehen aus drei bis vier verschiedenen Achsen (Stangen): ein oder zwei vertikale Z-Achsen, eine horizontale Y-Achse und eine X-Achse.

Die Z-Achse bestimmt die Höhe, auf der gedruckt wird. Hier müssen die Bewegungen des Druckers sehr präzise sein, damit die einzelnen Schichten des gedruckten Modells später eine hohe Auflösung haben. Meistens wird die Z-Achse über Zahnriemen angetrieben, es gibt jedoch auch andere Bauweisen, bei denen beispielsweise die Höhe durch das Drehen einer Gewindestange geregelt wird. Die meisten Drucker haben aus Stabilitätsgründen zwei Z-Achsen.

Die X-Achse ist meist an der oder an den Z-Achsen befestigt, an ihr hängt der Hauptteil des Druckers: der Druckkopf und die dazugehörige Düse, aus der später das Druckmaterial extrudiert wird, sowie der Motor für den Extruder. Der an die X-Achse angeschlossene Motor sorgt für Bewegung nach rechts und links. Die gesamte X-Achse ist an die beiden Z-Achsen angeschlossen, sodass sie sich nach jeder gedruckten Schicht ein Stückchen nach oben bewegen kann, um die nächste Schicht zu drucken.

Das Druckbett bewegt sich auf der Y-Achse. Sowohl die X-, als auch die Y-Achsen werden bei fast allen FDM-Druckern über Zahnriemen angetrieben.

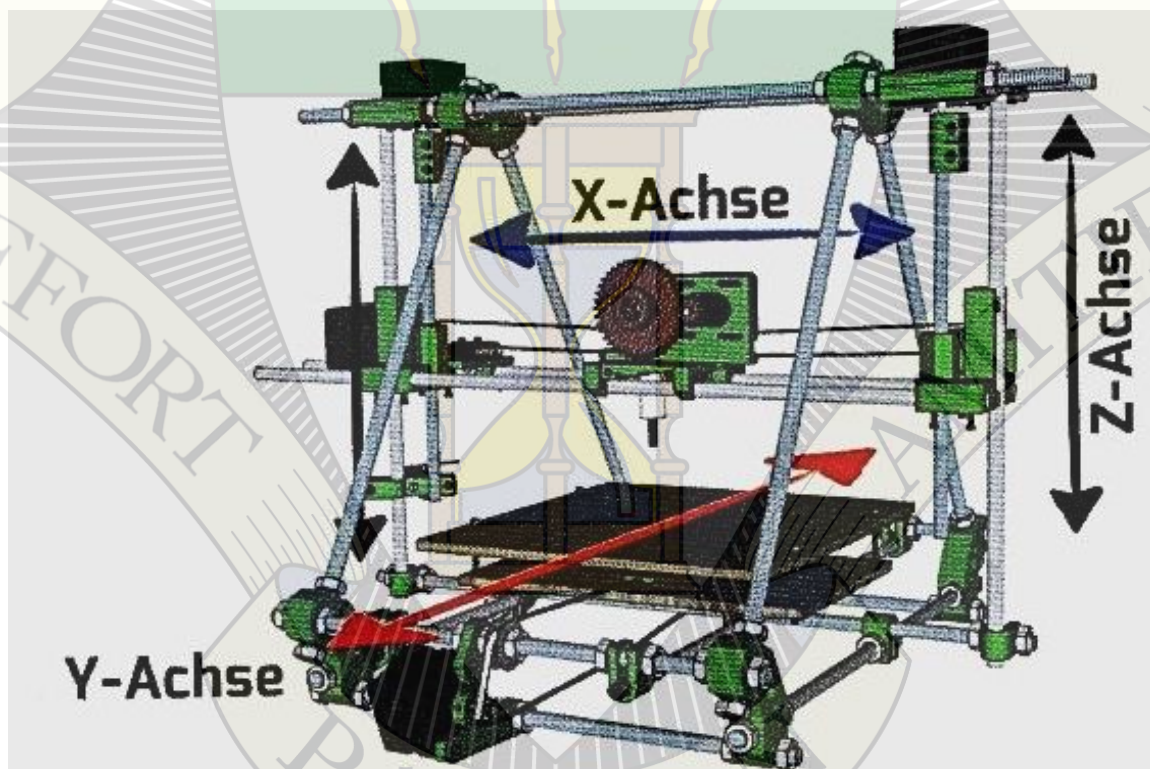


Abbildung 3.3: Ein klassischer FDM-3D-Drucker - Der Druckkopf bewegt sich auf der X-Achse, die X-Achse ist an den vertikalen Z-Achsen befestigt. Das Druckbett bewegt sich auf der Y-Achse.

### 3.2. Delta-Drucker

Bei Delta-Druckern bewegen sich an drei horizontalen Achsen Rollwagen auf und ab. Diese Rollwagen sind mit Stangen mit dem Mittelstück des Druckers verbunden. Dort befinden sich der Druckkopf und die Düse, wo der Plastikdraht geschmolzen wird. Anders als bei klassischen FDM-Druckern befindet sich der Fördermechanismus nicht direkt über der Düse, sondern meist am Rahmen des Druckers. Das Druckmaterial wird von dort aus durch einen Plastikschlauch zum Druckkopf geleitet.



Abbildung 3.4.: Ein Delta-Drucker

Durch aufeinander abgestimmtes auf und ab Bewegen der drei Rollwagen wird das Mittelstück in alle beliebigen Richtungen bewegt. Dieser Vorgang ist schwer vorstellbar, und genauso schwer erklärbar, bis man zum ersten Mal einen Delta-Drucker während eines Druckvorgangs beobachtet hat. Durch zahlreiche Scharniere bewegt sich das Mittelstück mit der Düse nur in eine Richtung, z.B. nach vorn, wenn sich das Element an der hinteren Achse nach unten bewegt. Das Mittelstück bleibt immer parallel zur Platte, auf der gedruckt wird, es neigt sich nie.



### 3.3. Unterschiede zwischen klassischen FDM-Druckern und Delta-Druckern

Der größte Unterschied zwischen Delta-Druckern und gewöhnlichen FDM-Druckern ist die Art der Bewegung. Drucker, die anhand des kartesischen Achsensystems arbeiten, können sich nur in drei verschiedene Richtungen bewegen, während ein Delta-Drucker sich in jede beliebige Richtung bewegen kann, wodurch höhere Positioniergenauigkeit, glattere Kurven und präzisere Modelle entstehen. Außerdem wiegen Delta-Drucker weniger als gewöhnliche 3D-Drucker, somit können sie leichter transportiert werden. Hinzu kommt, dass Deltadrucker meist eine höhere Druckgeschwindigkeit als andere FDM-Drucker haben.

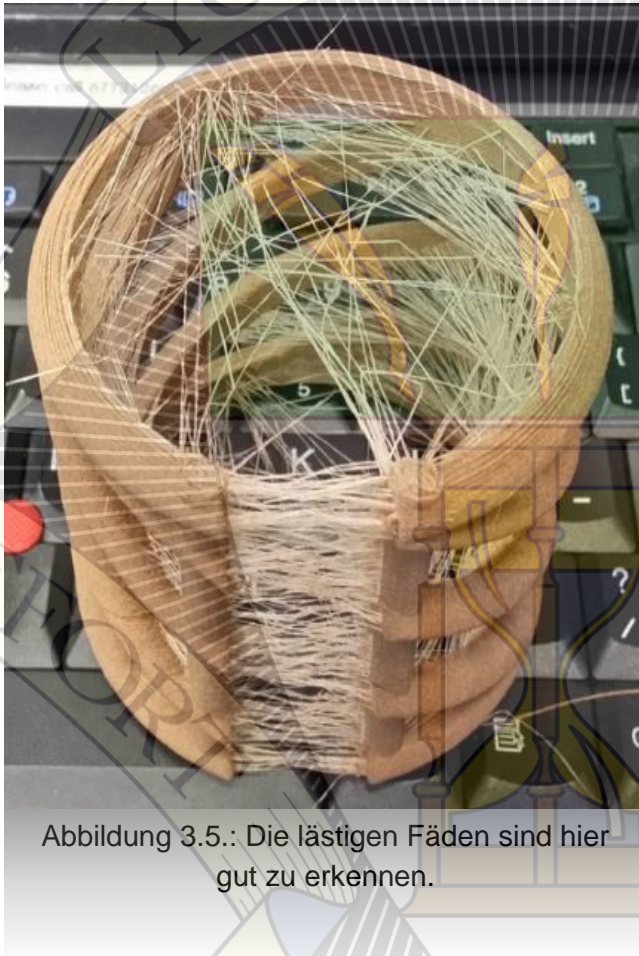


Abbildung 3.5.: Die lästigen Fäden sind hier gut zu erkennen.

Ein Nachteil von Delta-Druckern ist, dass sie komplizierter zu kalibrieren sind.

Außerdem entstehen durch mangelnde Kontrolle des Druckmaterials oftmals dünne Fäden (engl. strings) zwischen Lücken im Modell. Diese Fäden durchziehen den Druck. Je nach Modell stören sie mehr oder weniger, sie müssen später von Hand entfernt werden. Zurückzuführen sind diese Fäden auf den Spielraum, den das Filament im Plastikschauch zwischen Fördermechanismus und Druckkopf hat. Durch diesen Spielraum wird bei zu überbrückenden Lücken im Modell oftmals noch ein kleiner Rest Filament ausgegeben, welcher schlussendlich die lästigen Fäden bildet. Durch besseres Kalibrieren und genaueres Einstellen der Fördereinheit können diese Fäden vermieden werden.

Ein weiteres Problem von Delta-Druckern sind schnell verstopfte Druckköpfe. Auch diese Problematik entsteht durch den Spielraum, den das Druckmaterial zwischen Fördereinheit und Druckkopf hat.

Unter folgendem Link können Sie sich einen 3D-Drucker während dem Druckvorgang ansehen:

Prusa I3 (klassischer 3D-Drucker): <https://www.youtube.com/watch?v=Sh78sEHHa5k>

Sintron Kossel Mini (Delta-Drucker): <https://www.youtube.com/watch?v=BPrlvvLZWE>

### 3.4. Druckmaterial

Das Druckmaterial für FDM-Drucker liegt im Einkauf ca. zwischen ca. 15 und 45 Euro pro Kilogramm. Wie bei allem gibt es auch hier Qualitätsunterschiede. Qualitativ minderwertiges Filament kann brüchig und spröde werden. Außerdem kann Filament, das nicht richtig rund ist oder keinen genauen Durchmesser hat, den Extruder verstopfen. Die Druckqualität hängt stark vom Druckmaterial ab. Filaments werden in verschiedenen Farben und Dicken (letztere sind vom Extruder des Druckers abhängig) angeboten. Zurzeit sind zwei Kunststoffsorten marktführend: „PLA“ und „ABS“.



Abbildung 3.6.: Filament in allen Farben.

Die Abkürzung „PLA“ steht für Polylactid (engl.: polylactic acid).

Dabei handelt es sich um einen biologisch abbaubaren Kunststoff (Biopolymer). Dieser besteht aus vielen aneinandergereihten Milchsäuremolekülen. Die Schmelztemperatur liegt bei 160-190°C. Hergestellt wird PLA aus nachwachsenden Rohstoffen wie Maisstärke oder Zuckerrohr. Eingesetzt wird PLA beispielsweise für Verpackungsmaterialien, Folien, Dose, Schalen oder Becher.

Acrylnitril-Butadien-Styrol, kurz ABS, hingegen ist ein amorphes Thermoplast, welches sich durch hohe Härte und Festigkeit auszeichnet. Es besteht aus den drei Monomeren Acrylnitril, Butadien und Styrol und gehört chemisch gesehen zu den Terpolymeren. Die Schmelztemperatur ist höher als bei PLA und liegt bei 210-240°C. Lego-Bausteine bestehen beispielsweise aus ABS.

Für 3D-Druck-Anfänger eignet sich PLA-Filament besser, da auch bei niedrigeren Drucktemperaturen gute Druckergebnisse erzielt werden können. Außerdem entsteht der sogenannte „Warp-Effekt“ (Wölbung des Drucks während dem Abkühlen) bei PLA-seltener als bei ABS-Filamenten. Bei PLA benötigt man auch nicht unbedingt ein Heizbett. Ein weiterer Nachteil von ABS ist, dass beim Drucken leicht giftige Dämpfe entstehen können, weshalb beim Drucken mit ABS immer gelüftet werden sollte. Außerdem ist PLA biologisch abbaubar und somit umweltfreundlicher als ABS. Allerdings lässt sich ABS leichter nachbearbeiten und ist stabiler und witterungsbeständiger als PLA.



## Kapitel 4: Einsatzbereiche

Heutzutage werden bereits verschiedenste Arten von Gegenständen mit 3D-Druckern hergestellt. Diese können beispielsweise einfache Einzelteile sein, die in geringer Anzahl produziert werden können, wie Architekturmodelle, Schmuck oder Spielzeuge. Außerdem können mit Hilfe von 3D-Druckern schnell Prototypen erstellt werden. Vor allem aber erlauben 3D-Drucker jedoch eine recht günstige Herstellung von komplizierten Bauteilen, wie zum Beispiel in der Medizin Gelenke, Prothesen oder Zahnersatz.

### • Modellbau

Die kalifornische Firma „Steelblue“ hat im Jahr 2014 ein Modell von 115 Wohnblöcken der Stadt San Francisco mithilfe eines 3D-Druckers im Maßstab 1:1250 erstellt. Es soll das bisher größte 3D-gedruckte Modell sein und veranschaulicht die empfohlene Stadtentwicklung. Geplant wurde es von einer Immobiliengesellschaft. Anschließend wurden die Wohnblöcke von Steelblue einzeln gedruckt und zu einem Modell zusammengestellt. Durch den Einsatz eines 3D-Druckers sanken die Materialkosten für das Modell um vier Fünftel von 100.000 US-Dollar auf 20.000 US-Dollar. Die Bauzeit beschränkte sich auf zwei Monate.

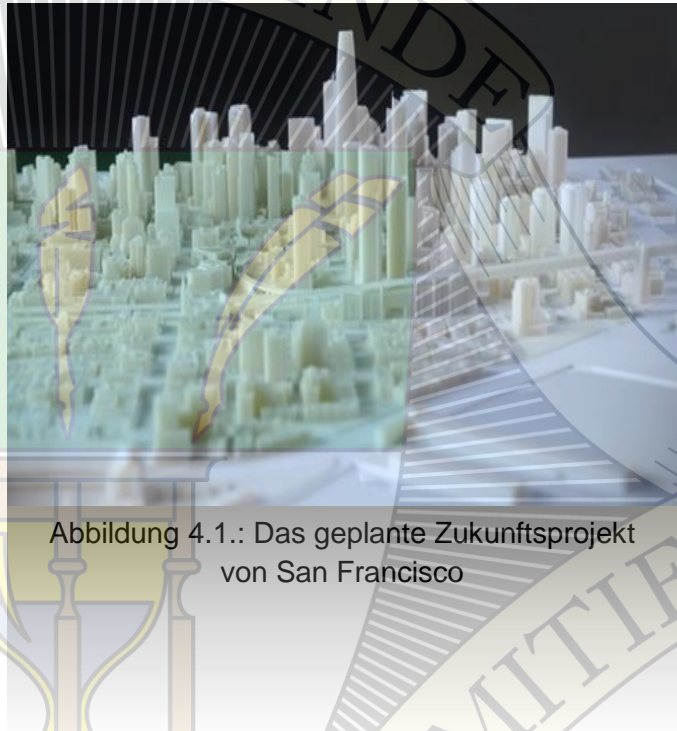


Abbildung 4.1.: Das geplante Zukunftsprojekt von San Francisco



Abbildung 4.2.: Der neue Bentley EXP 10 Speed 6 auf während der Vorstellung auf der Messe in Genf

### • Automobilindustrie

Der britische Autobauer Bentley hat Anfang des Jahres 2015 sein neues Modell „EXP 10 Speed 6“ auf der Automesse in Genf vorgestellt. Hierbei handelt es sich um eine Studie, das Coupé wird also noch nicht in Serie gebaut. In zahlreichen Tests wird er gelobt und als „Luxus und Performance“ beschrieben. Bentley setzt schon seit einigen Jahren auf den Einsatz von additiver Fertigung, vor allem für Tests und die Konzeptionierung einzelner Bauteile.



Beim neuen EXT 10 Speed 6 werden nun erstmals 3D-gedruckte Metallobjekte eingebaut. Zum Beispiel stammen sowohl die Türgriffe und Teile des Auspuffs, sowie der legendäre Bentley-Kühlergrill aus dem 3D-Drucker. Vor allem bei letzterem handelt es sich nicht nur eine einfache Form, sondern um eine komplexe Struktur, die aus unterschiedlichen Betrachtungswinkeln verschiedene Optiken aufzeigt. Der Chef von Bentley, Wolfgang Dürheimer selbst zeigt sich begeistert und sagt (Zitat): „Das könnte ein Zukunftsmodell sein (...) und die Familie Bentley beeinflussen“.



Abbildung 4.3.: Ersatzteil für die Führung eines Garagentors

#### • Private Nutzung

Auch privat können 3D-Drucker bereits sinnvoll genutzt werden, zum Beispiel, um kaputte Elemente zu ersetzen. Dazu braucht man bloß einen 3D-Drucker und etwas Erfahrung mit einer 3D-Modellierungssoftware. Der 3D-Druck-begeisterte Dalibor Pejicic gibt auf einer Internetseite Einblicke in seine praktischen 3D-Druck-Projekte aus dem Alltag. So hat er beispielsweise das kaputte Rad an der Führung seines Garagentors durch ein 3D-gedrucktes Teil ersetzt, welches er vorher selbst mit einem CAD-Programm entworfen hat. Außerdem hat er sich eine Halterung für ein Messgerät seines Aquariums gezeichnet und anschließend

gedruckt. Dieses ist passgenauer als sein Vorheriges, außerdem durch die Verstärkung der Wände auch stabiler. Auch für das Ersetzen fehlender Teile kann der 3D-Druck nützlich sein: Dalibor Pejicic druckte sich den fehlenden Einfüllstutzen für den Öltank eines zu restaurierenden Motorades selbst, nachdem er ihn mithilfe einer Software gezeichnet hatte. Sein 3D-gezeichnetes Modell kann auf „PARTcloud“ heruntergeladen werden. Auch die Halterung der Rollen seiner Duschkabinentür, die nach einigen Jahren Gebrauch gebrochen war, konnte er durch ein 3D-gedrucktes Teil ersetzen, passenden Ersatz gab es nämlich vom Anbieter nicht mehr. Das Design wurde ebenfalls auf PARTcloud hochgeladen. Durch den Einsatz von 3D-Druckern kann also auch im Alltag Zeit, Geld und Aufwand (z.B. von Bestellungen) gespart werden.

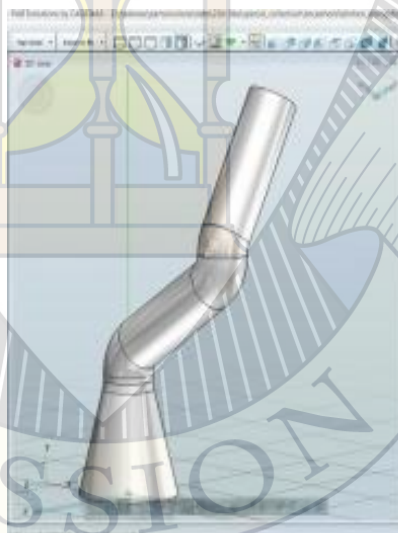


Abbildung 4.4.: Der 3D-gezeichnete Einfüllstutzen (links) und das gedruckte Ergebnis (rechts)



Abbildung 4.5.: Ein gesamtes mittelalterliches Dorf, das mithilfe von Mineways exportiert und anschließend gedruckt wurde.

## • Projekt Mineways

„Mineways“ ist ein kostenloses Programm, mit dem man Modelle aus dem beliebten Computerspiel „Minecraft“ exportieren kann. In Minecraft geht es um das Abbauen und sammeln von Rohstoffen, sowie das Bauen eigener Gebäude. Das Besondere an Minecraft ist, dass die gesamte Welt aus würfelförmigen Blöcken besteht.

Das Programm Mineways entstand in einer „OpenSource“, der Quelltext ist also öffentlich für jeden zugänglich. Kreiert wurde es von Eric Haines.

Die exportierten Modelle können mit einem eigenen 3D-Drucker gedruckt werden oder aber bei einem 3D-Druck-Dienstleister bestellt werden. Da nicht nur die Modelldatei, sondern auch die Texturen des Spiels vom Programm Mineways exportiert werden, können die Modelle sogar in den ursprünglichen Farben aus dem Computerspiel gedruckt werden.

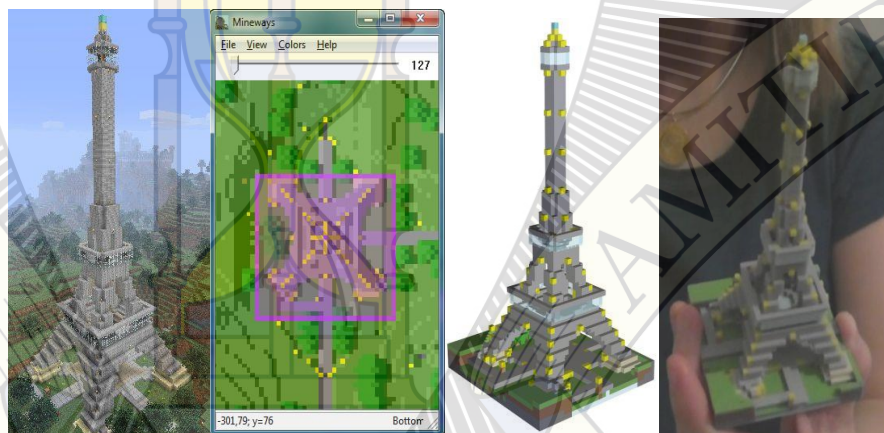


Abbildung 4.6.: Einer der ersten Mineways-3D-Drucke - der „Eiffie-Tower“.

Von links nach rechts: Das Modell in Minecraft, der ausgewählte Bereich in Mineways, die Modellvorschau und das fertige Modell, gedruckt vom 3D-Druck-Dienstleister „Shapeways“.

Der Einsatz von 3D-Druckern ermöglicht es Architekten, Designern und Forschern, aber auch privaten Nutzern, ihre Projekte nicht nur realistischer, sondern auch schneller und kostengünstiger zu erstellen. Viele private Anwender drucken aber auch einfach nur zum Spaß.



## • Waffen aus 3D-Druckern

Ein großes Problem an den für jedermann erhältlichen 3D-Druckern ist die durch sie ermöglichte Produktion von Waffen. Technisch ist dies inzwischen kein Problem mehr. Doch ist dies überhaupt rechtlich erlaubt?

Laut Deutschem Gesetz sind das Herstellen, und somit auch das Drucken, von Waffenteilen oder gesamten Waffen verboten. Ein Verstoß stellt eine Straftat dar. Man macht sich bereits strafbar, wenn man z.B. aus Neugierde versucht, eine Waffe oder Teile, aus denen man eine Waffe bauen kann, privat für sich zu drucken. Für die Verbreitung von Druckplänen von Waffen im Internet gibt es jedoch keine konkreten Gesetze. Vergleichbar ist dieses Problem mit kostenlosem Downloaden von Musik im Internet. Es ist nicht offiziell verboten, da es noch keine Gesetze diesbezüglich gibt, wirklich erlaubt ist es allerdings auch nicht.

Anzumerken sei hier, dass man einige Waffen unter gewissen Umständen zwar produzieren und besitzen, diese aber nicht mit sich führen darf.

Anfangs wurde versucht, Waffen aus Kunststoff zu drucken. Diese sind jedoch sehr ungenau und splitteren schnell, können aber trotzdem bei geschicktem Einsatz ernsthafte Verletzungen verursachen. Da sie komplett aus Kunststoff gedruckt werden sind sie außerdem in Metalldetektoren nicht zu erkennen und können deshalb leicht in

Sicherheitskontrollen übersehen werden. Einer texanischen Firma ist es gelungen, eine komplett funktionstüchtige Waffe aus Metall zu drucken. Die Firma Solid Concepts besitzt eine Lizenz, die es ihr erlaubt Waffen zu

produzieren. Sie benutzt die „Laser-Sintering“-Methode für die Herstellung ihrer Waffe. Diese besteht aus mehreren Teilen, die einzeln aus Metallpulver gedruckt werden. Die Waffe funktioniert nach eigenen Angaben der Firma „wunderschön“. Der Preis für einen solchen 3D-Drucker ist zurzeit noch sehr hoch, der von Solid Concepts eingesetzte SLS-Drucker soll über 130.000 Dollar gekostet haben.

Die Vorlage für die Pistole ist aus dem Jahr 1911 und die Patente auf das Design sind inzwischen abgelaufen. Der hohe Preis des Druckers ist somit das einzige, was der Verbreitung solcher Waffen noch im Weg steht. Die Waffenindustrie könnte zwar von dem kostengünstigen Produktionsverfahren profitieren, zu bedenken ist jedoch, dass sich auch kriminelle Banden mit Hilfe von Druckern sehr leicht Waffen herstellen könnten.



Abbildung 4.7.:

Die in einem 3D-Drucker hergestellte Waffe von „Solid Concepts“



## Kapitel 5: Zukunftsprojekte

### • Beispiel Hausbau

In naher Zukunft könnten gesamte Häuser mithilfe von 3D-Druckern gebaut werden. Schon heute versuchen einige Unternehmen, Prototypen von 3D-gedruckten Häusern zu erstellen.

Ein Beispiel dafür ist das „3D Print Canal House“ des Amsterdamer Architektenteams „DUS“. Das Haus soll aus 13 verschiedenen Elementen bestehen, die alle einzeln in einem sechs Meter hohen 3D-Drucker ausgedruckt werden. Als Druckmaterial wird ein schwarzer Biokunststoff verwendet. Während des Drucks werden in den Wänden Hohlräume gelassen, die später mit Öko-Beton aufgefüllt werden. Diese Technik des Hausbaus ist überall einsetzbar, außerdem ist das Design leicht zu verändern. Das Versuchsprojekt wurde im Jahr 2014 gestartet und soll bis 2017 andauern.



Abbildung 5.1: Werbebild für das 3D Print Canal House von DUS.

Die chinesische Firma „Shanghai WinSun Decoration Design and Engineering“ arbeitet seit Jahren an einem Verfahren, um komplette Häuser mithilfe des 3D-Drucks herzustellen. Sie hat es geschafft, innerhalb eines Tages zehn Häuser auszudrucken. Diese haben eine Grundfläche von ca. 24 Quadratmetern und besitzen nur eine Etage. Der Preis dieser Häuser soll bei 4800 US-Dollar liegen. Damit die einzelnen Bauteile nicht zu schwer werden, sind sie nicht massiv, sondern haben, ähnlich wie Hohlraumbausteine, Hohlräume im Inneren der Wände.



Abbildung 5.2.: Ein 3D-gedrucktes Haus der Firma „Shanghai WinSun Decoration Design and Engineering“.

Das italienische Bauprojekt „Big-Delta“ von WASP (Worlds advanced saving project) ist ein weiteres imposantes Beispiel für den Druck von Häusern. Der Drucker, der auch „Big Delta“ genannt wird ist, wie es der Name schon sagt ein Delta-Drucker. Das Projekt wurde 2012 gestartet, das Ziel war, ein Haus mit Materialien aus der Umgebung zu drucken.



Abbildung 5.3.: Der riesige 3D-Delta-Drucker „Big Delta“.



Die Kosten sollten dabei möglichst gering bleiben. Außerdem sollten Punkte wie der Energieverbrauch, die Dauer, die am Stück gedruckt werden kann, sowie eventuelle Unterbrechungen während des Drucks und die Portabilität (die Plattformunabhängigkeit eines Computerprogramms) berücksichtigt werden. Anfangs sollte Big-Delta nur sechs Meter hoch werden, schlussendlich ragt er sogar zwölf Meter in die Höhe. Aus Stabilitätsgründen besitzt er mehrere Querstreben in verschiedenen Höhen. Er



Abbildung 5.4.: Die Düse von Big Delta.

funktioniert jedoch genauso wie ein „kleiner“ Delta-Drucker, beispielsweise wie der, den ich im Rahmen dieser Arbeit gebaut habe. Big Delta druckt zurzeit mit Lehm und Tonerde. Das Druckmaterial ist jedoch variabel, sodass es an die Region, in der gedruckt wird, angepasst werden kann. Genutzt werden soll der riesiger Drucker in bevölkerungsreichen Regionen, um kostengünstige Teile von Häusern herstellen zu können. Mithilfe von Big-Delta und ähnlichen 3D-Druckern erhofft WASP sich, in Zukunft das Problem des Bevölkerungswachstums und die dadurch entstehenden Wohnungsprobleme auf eine simple und preiswerte Art und Weise lösen zu können.

Ob sich 3D-Drucker wirklich im Hausbau als nützlich erweisen werden, wird sich zeigen. Bisher gibt es bloß Prototypen und Versuchsprojekte, die von den Firmen, die sie durchführen, natürlich hoch angepriesen werden. Große Hoffnungen werden zurzeit vor allem in dieses Produktionsverfahren gesetzt, um in Katastrophenregionen, beispielsweise nach Erdbeben, schnell und kostengünstig Wohnraum zu schaffen. So müsste man nur die Drucker in die betroffene Region transportieren, wo sie mit Tonerde oder anderen bereits vorhandenen Materialien Häuser drucken könnten.





Abbildung 5.5.: Modell der geplanten, von einem 3D-Drucker gebauten Mondbasis von ESA und „Foster + Partners“.

#### • Beispiel Raumfahrt

Die ESA (europäische Raumfahrtorganisation) testet zurzeit, wie man mithilfe von 3D-Druckern Raumstationen auf dem Mond erbauen könnte. Zusammen mit dem renommierten Industriepartner „Foster + Partners“ planen sie in Zukunft auf dem Mond Gebäude aus lunarem Gestein zu drucken.

Zusammen haben ESA und die Architekten von Foster + Partner eine lasttragende Kuppel entwickelt, die Mikrometeoriten sowie Weltraumstrahlung abhält. Die Mauern besitzen eine hohle, geschlossene Zellstruktur, ähnlich wie Vogelknochen. Dadurch sind sie sehr leicht, aber trotzdem stabil. Der 3D-Drucker, mit dem der Prototyp gedruckt wurde, stammt vom britischen Unternehmen „Monolite“. Gedruckt wurde das Versuchsobjekt aus künstlichem Mondgestein. Dieses wurde zunächst mit Magnesiumoxid vermischt, mit dem gedruckt werden kann, anschließend wird als strukturgebendes Material ein Bindesalz hinzugegeben, durch welches das Gemisch aus Mondgestein und Magnesiumoxid aushärtet. Der Drucker, mit dem die Station gebaut werden soll, druckt pro Stunde dreieinhalb Meter. Damit könnte ein gesamtes Gebäude innerhalb von einer einzigen Woche fertiggestellt werden.

Für eine Raumstation müsste man also bloß noch den Drucker und einige technische Bauteile auf den Mond senden, der Aufwand, Baumaterial dorthin zu transportieren, würde durch dieses Projekt wegfallen.

## Kapitel 6: Abschluss Teil 1

Da der 3D-Druck ein sehr weites Thema darstellt, gibt diese Arbeit nur einen kleinen Einblick in die Welt der additiven Fertigung. Die rasante Entwicklung der letzten Jahre dürfte in Zukunft noch enorm zunehmen. Dies wird unser Leben verändern, ob zum Vor- oder Nachteil wird sich zeigen.

Wenn der 3D-Druck in der industriellen Produktion zunimmt, werden wahrscheinlich viele Arbeitsplätze wegfallen. Der Chef des Branchenverbandes Bitkom, Bernhard Rohleder, fragt bei der diesjährigen CeBIT, ob es in zehn Jahren noch Zahntechniker geben wird und verneint dies in Hinblick auf die Möglichkeiten, die der 3D-Druck bietet (Luxemburger Wort vom 14.3.2016). Und das ist nur ein kleiner Bereich. Ganze Branchen werden verschwinden, andere dagegen neu entstehen. Die Arbeitswelt wird sich vermutlich stark verändern.

Eine negative Seite des 3D-Drucks ist, dass man mit dieser Technologie relativ einfach Waffen produzieren kann. Es sollten unbedingt eindeutige Gesetze und Verordnungen in diesem Bereich erlassen werden. Durch den 3D-Druck wird es noch einfacher werden, Ideen oder Designs widerrechtlich zu kopieren. Auch das sollte klar geregelt werden.

In Zukunft werden 3D-Dienstleister wahrscheinlich großen Erfolg haben. Dies könnte sich so entwickeln, dass es irgendwann „3D-Druck-Shops um die Ecke“ gibt, in denen man sich Dinge drucken lassen kann, ähnlich wie man heutzutage in Copyshops Kopien machen lassen kann.

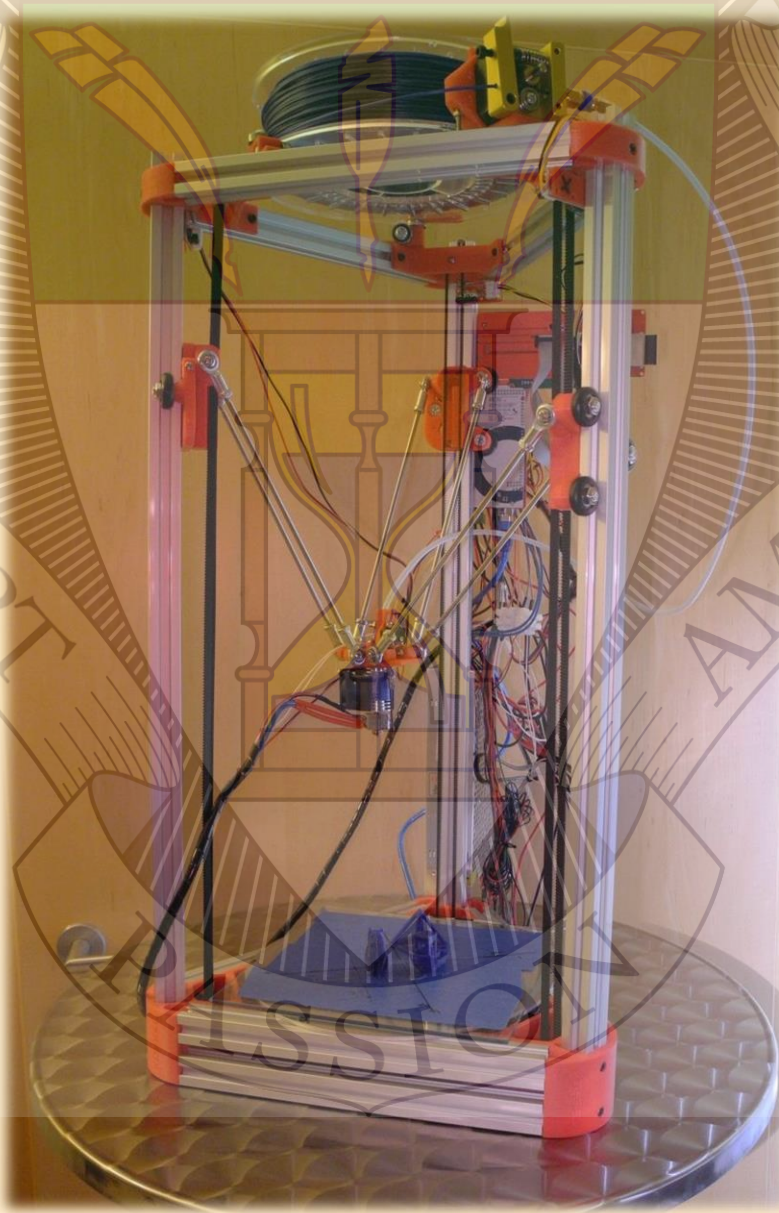
Inwieweit sich der 3D-Druck in privaten Haushalten durchsetzen kann, wird sich noch herausstellen. Im Moment nutzen wohl eher Computertüftler oder Technikbegeisterte die neuen Möglichkeiten. Die 3D-Druck-Maker-Szene entwickelt sich aber stetig weiter, es gibt immer neue Ideen.

Inzwischen gibt es schon einige 3D-Drucker für den Hausgebrauch, die preislich erschwinglich sind. Vor allem Bausätze sind eine preiswertere Alternative, wenn man technisch begabt und an der Funktionsweise eines 3D-Druckers interessiert ist.

Im zweiten Teil meiner Arbeit stelle ich nun den Bau meines eigenen Sintron Kossel Mini RepRap 3D-Delta-Drucker vor.

## **Teil 2**

# **Dokumentation des Baus meines eigenen 3D-Druckers**





## Kapitel 1: Bau des Druckers

Meinen eigenen 3D-Drucker habe ich in der Entreprise „Architecture-Atelier ouvert“ gebaut. Ich war letztes Jahr bereits in der Entreprise „Architecture-CAD“, wo ich gelernt habe, am Computer dreidimensionale Modelle zu entwerfen. Als ich mich am Ende des letzten Schuljahres dazu entschied, meine nächste Travail personnel über 3D-Drucker zu schreiben, kam mir die Idee, selbst einen 3D-Drucker zu bauen. Anfangs wollte ich eine Aktivität „3D-Drucker“ für die Entreprise „Architecture“ organisieren, jedoch waren keine anderen Schüler daran interessiert, einen 3D-Drucker zu bauen, also habe ich beschlossen, das Projekt allein anzugehen. In diesem Kapitel beschreibe ich den Bau meines 3D-Druckers, sowohl schriftlich als auch mit Bildern, die ich während meiner Arbeit gemacht habe.

Anfangs wollte ich den 3D-Drucker aus alten Computern und gewöhnlichen Druckern oder Scannern ohne Bausatz und -plan zusammenbauen. Herr Vico unterstützte mich dabei, er gab mir Tipps zum Bau und zeigte mir OpenSources-Projekte im Internet. Die ersten beiden Wochen habe ich also hauptsächlich mit Recherchen im Internet und in Büchern über 3D-Drucker verbracht. Nach einiger Zeit fand ich das OpenSource-Projekt „Michigan Tec“.

Dabei handelte es sich um den Bau eines Delta-3D-Druckers. Die einzelnen Schritte und Informationen des Baus wurden auf einer Internetseite veröffentlicht. Der Unterschied zwischen klassischen und Delta-Druckern liegt darin, dass klassische Drucker sich auf dem kartesischen Achsenplan bewegen, während sich die Motoren eines Delta-Druckers an drei vertikalen Stangen auf und ab bewegen und dadurch eine Bewegung der Düse in jede beliebige Richtung möglich ist. (Genauere Unterschiede zwischen klassischen und Delta-Druckern, sowie Details zu beiden finden Sie in Teil 1, Kapitel 3.)



Rechercharbeiten zu einem OpenSource Projekt der Michigan Tec.



So könnte ein selbstgebauter Rahmen für einen Delta-Drucker aussehen.

Ich war in mehreren Computer- und Elektronikfachgeschäften, von denen jedoch nur einer 3D-Drucker vertreibt. Der zuständige Verkäufer riet mir eher ab, einen Drucker zu kaufen, da er seiner Meinung nach zu privaten Zwecken kaum nutzbar wäre. Er meinte, 3D-Drucker seien nur für größere Unternehmen von Nutzen, was wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass er hauptsächlich professionelle Drucker vertreibt, die für mich im Preis deutlich zu hoch liegen.

Ich habe jedoch schon mehrere Ideen, was ich mit meinem Drucker drucken könnte, zum Beispiel Schachfiguren, Teile für eine Longboard-Presse sowie für meine Modelleisenbahn oder Deko-Artikel. Nach einigem hin- und her Überlegen werde ich mir nun den „Sintron

Kossel Mini Delta 3D-Drucker“ bestellen. Ich habe mich für den Kauf eines Delta-Druckers entschieden, da ich mich durch die OpenSource „MichiganTec“ bereits in die Funktionsweise eingelesen habe. Außerdem habe ich so bei eventuellen Problemen und späterem Nachbau eine Anlaufstelle für Fragen.

Nachdem ich drei Unterrichtsstunden ausführlich zum Thema „3D-Drucker selbst bauen“ recherchiert hatte, schien mir der Bau eines Druckers komplett ohne Anleitung und Vorgaben für mich alleine nicht realisierbar. Außerdem wird in fast allen öffentlichen Foren darauf hingewiesen, dass man, wenn man seinen ersten 3D-Drucker baut, sich auf einem Bausatz basieren soll und diesen dann eventuell später verbessern, vergrößern oder nachbauen kann. Also entschied ich mich dazu, einen Bausatz zu bestellen und diesen bis zur Präsentation meiner Travail personnel zusammenzubauen. Später im Jahr werde ich dann versuchen diesen Bausatz zu verbessern oder vielleicht, wie anfangs geplant, mit altem Elektronikschrott nachzubauen.



Der 3D-Drucker „Sintron Kossel Mini“.



Die Teile des 3D-Druckers wurden sortiert in einer Kiste geliefert. Sie waren gut vor Schäden geschützt. Die Bauanleitung für den Bau habe ich digital per Email erhalten. Vorerst habe ich mich mit der Anleitung beschäftigt, ich wollte mir ein Gesamtbild des Baus machen. Zuerst habe ich den Rahmen des Druckers gebaut. Dieser besteht aus jeweils drei vertikalen Stangen, die oben und unten durch drei horizontale Stangen miteinander verbunden werden. Die roten Eckstücke sind bereits 3D-gedruckt. Die Stangen werden in den dafür vorgesehenen Ausfräsungen, die ja eigentlich keine Ausfräsungen, sondern „mitgedruckte“ Hohlräume sind, mithilfe von Muttern befestigt. Diese Löcher in den Eckstücken waren leider sehr ungenau, sodass ich sie vor dem Verbauen nachschleifen musste.



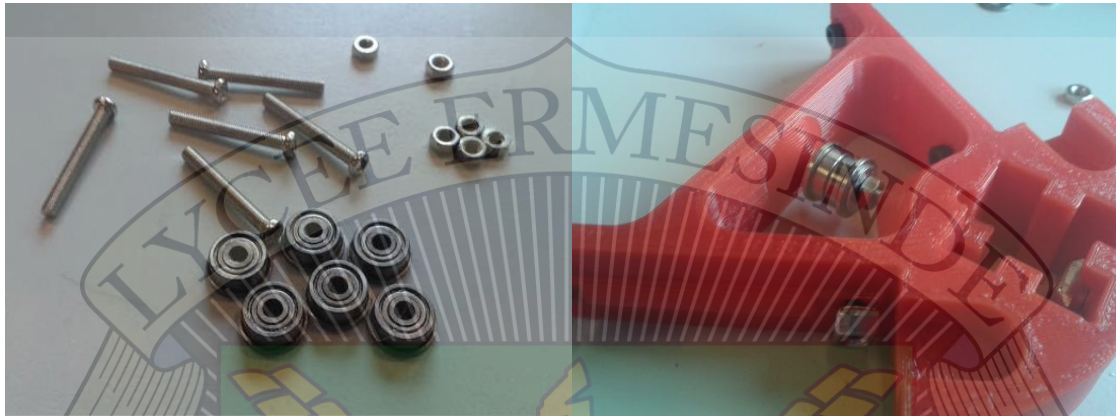
Bauteile für den Drucker.



Erste Arbeiten am Rahmen.

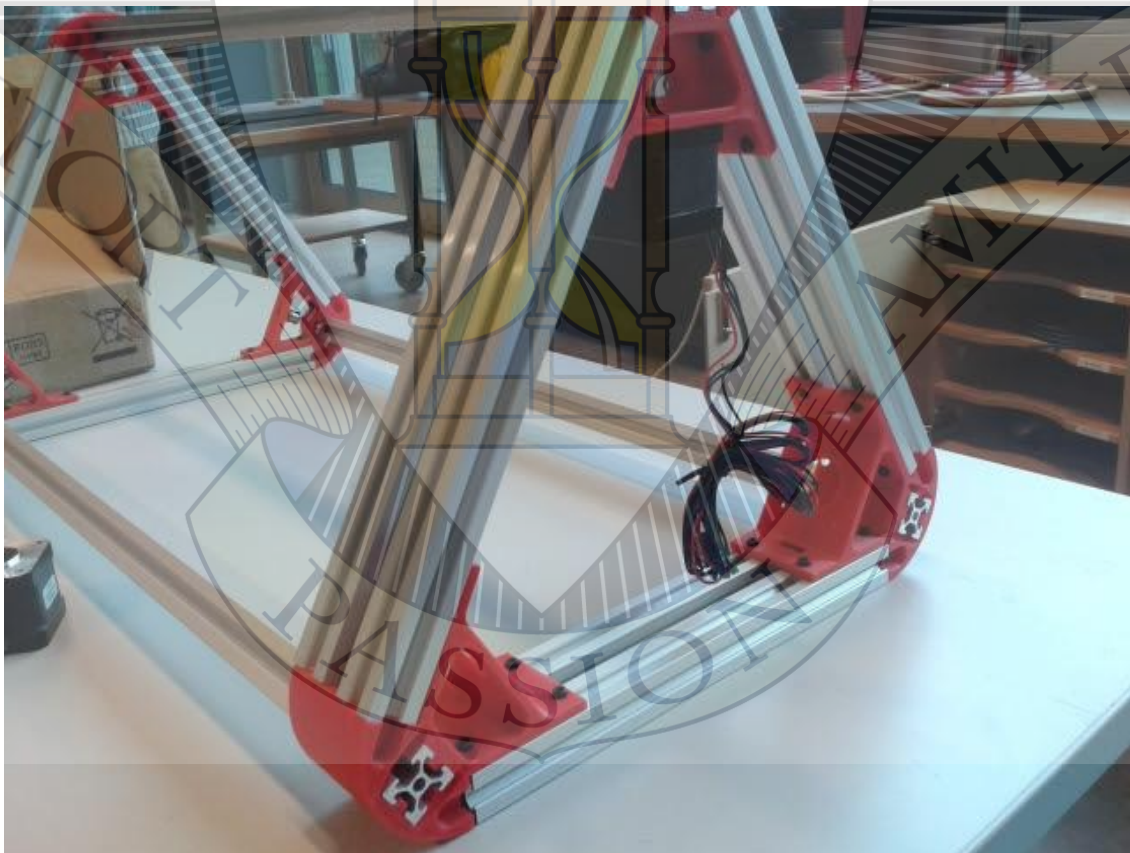


In den oberen Eckstücken werden zwei Rädchen befestigt, über sie werden später die Zahnriemen für den beweglichen Teil des Druckers laufen. An dieser Stelle fehlten einige Unterlegscheiben, die in der Kiste nicht vorhanden waren, die ich jedoch von zuhause mitbringen konnte.

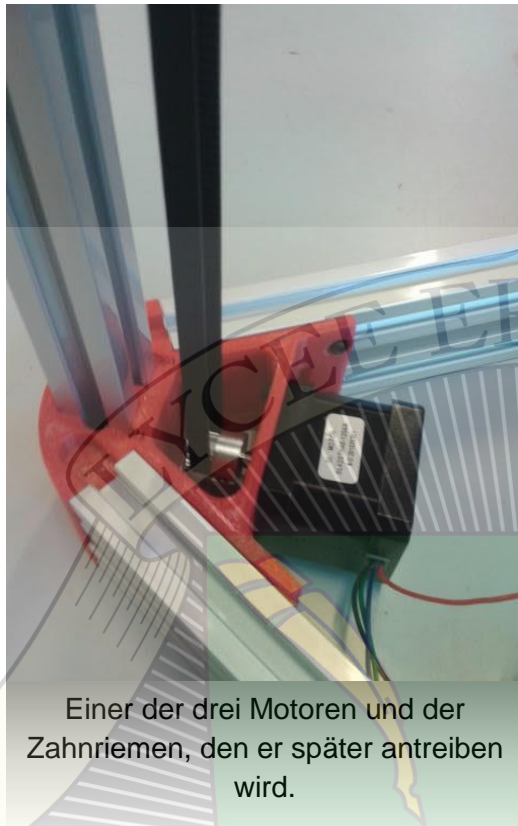


Die Teile, die in den oberen Eckstücken befestigt werden (Unterlegscheiben fehlen) und die fertigen Eckstücke.

Nach den beiden ersten Tagen hatte ich den Rahmen fertiggebaut.



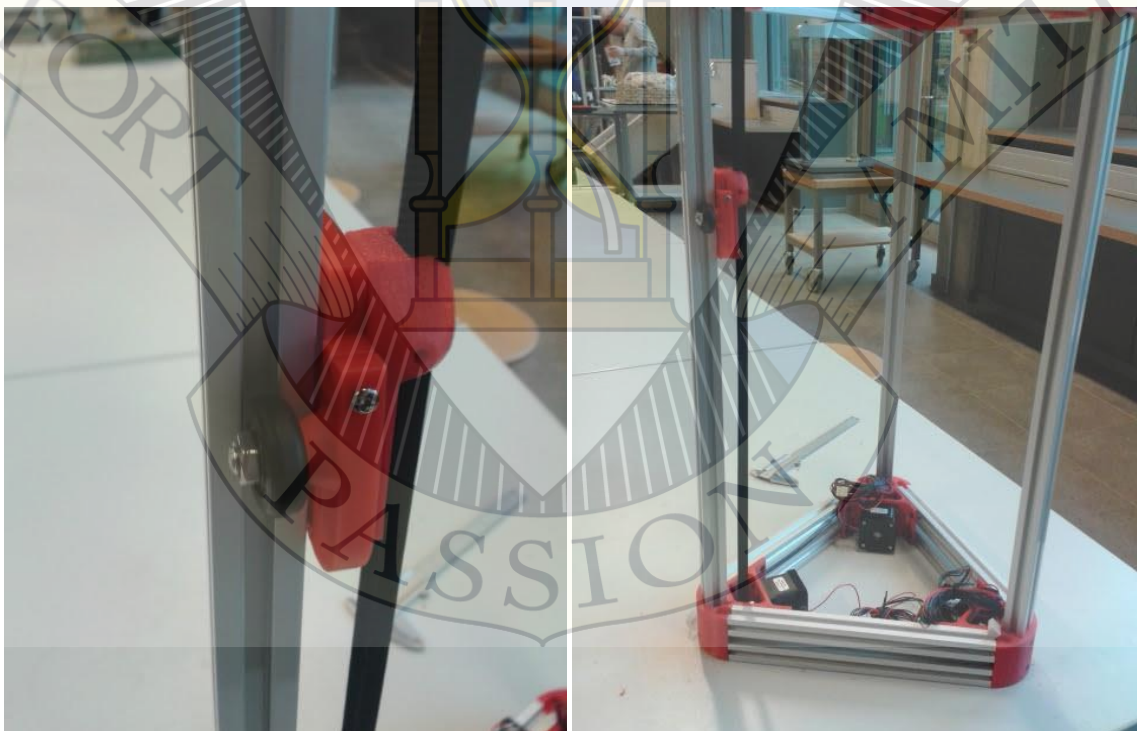
Der fertige Rahmen (mit einem bereits befestigtem Motor).



Einer der drei Motoren und der Zahnriemen, den er später antreiben wird.

In der darauf folgenden Woche habe ich die drei Motoren am Gestell befestigt. Jeder von ihnen wird später einen Zahnriemen antreiben, der oben um die bereits befestigten Rädchen läuft. Bei den Zahnriemen handelt es sich um einfache Gummibänder, diese könnte man später durch hochwertigere Nylonbänder ersetzen. An den Zahnriemen sind bewegliche Teile, sogenannte Rollwagen, befestigt. Sie bestehen aus zwei Plastikteilen, die wie bereits die Eckstücke 3D-gedruckt sind und jeweils drei Rädchen, die den Rollwagen später in der Führung halten. Die Teile werden mithilfe von Schrauben und Muttern zusammengebaut. Anschließend werden die Zahnriemen an den fertigen Rollwagen befestigt. Durch die sich drehenden Motoren laufen die Rollwagen so später an den vertikalen Stangen auf und ab. Die Rädchen laufen in den Vertiefungen des Rahmens so, dass der Rollwagen einen sicheren Halt hat und nicht wackelt.

Auch bei diesen Teilen fielen wieder einige Ungenauigkeiten auf, Präzision fehlt hier leider. Nach dem Nachbohren und -schleifen einiger Löcher konnte ich sie jedoch ohne weitere Probleme zusammenbauen.



Der fertig zusammengebaute und am Zahnriemen befestigte Rollwagen.



Nachdem ich die beiden übrigen Rollwagen befestigt hatte, konnte ich mich endlich dem Bau des frei beweglichen Mittelstücks des Druckers zuwenden. Auch dieses ist 3D-gedruckt und wie bei allen bereits gedruckten Teilen des Bausatzes musste ich es wieder vorschleifen, da es einige Ungenauigkeiten aufwies. Das Mittelstück ist mit sechs Stangen, die Kugelgelenke an beiden Enden haben, an den sich auf und ab bewegend Rollwagen befestigt. Stehen alle drei Rollwagen auf gleicher Höhe befindet sich das Mittelstück im Zentrum des Druckers. Durch das Verschieben der Rollwagen, jetzt noch von Hand, später werden die Motoren dies erledigen, bewegt sich das Mittelstück in verschiedene Richtungen, ohne sich dabei zu neigen. Es bleibt immer in der Horizontale, sprich parallel zum Druckbett. Dieser Vorgang ist schwer vorstellbar, wenn man ihn nicht bereits gesehen hat. Auf YouTube gibt es ein Video, in dem diese Technik sehr gut erkennbar ist, unter dem folgenden Link:  
<https://www.youtube.com/watch?v=BPIrlvvLZWE> (bereits in Kapitel 3 erwähnt).

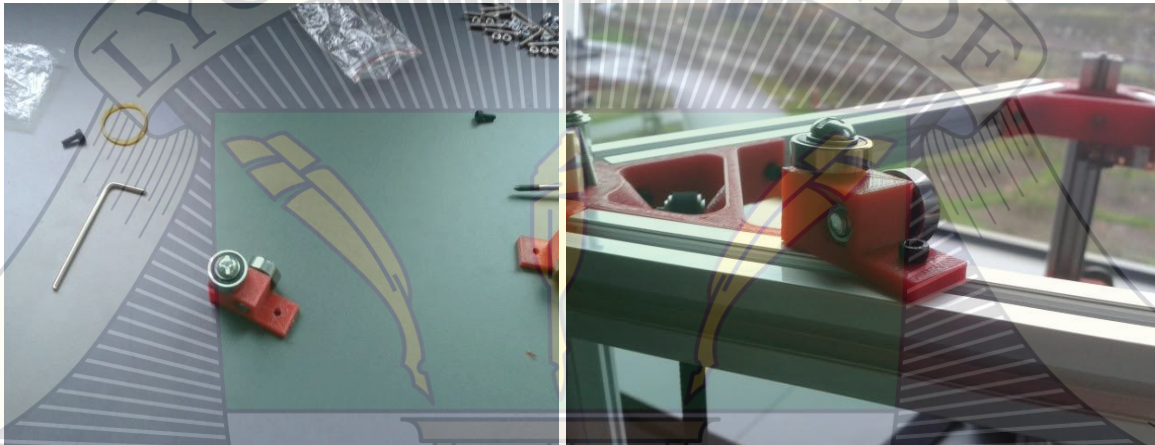


Das frei bewegliche Mittelstück des Delta-Druckers.

Befinden sich die Rollwagen auf gleicher Höhe steht es mittig (oben), verschiebt man einen der Rollwagen nach unten bewegt es sich zur entgegengesetzten Seite (unten).

Anschließend habe ich auf dem Rahmen drei Elemente befestigt, an denen später die Trommel mit dem Druckmaterial entlanglaufen wird. An diesen Teilen werden kleine Rollen befestigt, sie helfen der Trommel, sich leichter zu drehen. Das Druckmaterial ist ein dünner Kunststoffdraht, im Englischen „filament“ genannt (siehe auch Teil 1, Kapitel 3). Ein kleines Stück wurde bereits zum Testen mitgeschickt.

Die Führungselemente für die Druckmaterialrolle werden jeweils mit einer Schraube und einer Mutter oben am Rahmen des Druckers befestigt. Durch leichtes Lockern der Schraube können diese Teile so sehr einfach nachträglich verschoben werden und so an die Größe der Rolle angepasst werden.



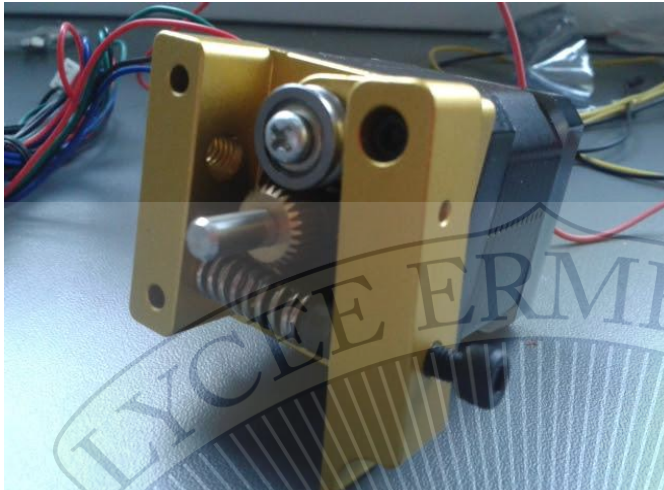
Bau der Führungselemente für die Filament-Rolle (links) und bereits befestigtes Element (rechts).

Unterhalb des oberen Querrahmens, also an der höchsten Stelle, die von den Rollwagen erreicht werden können, habe ich jeweils einen mechanischen Endschalter (engl.: endstop) befestigt. Diese senden ein Signal aus sobald der bewegliche Rollwagen gegen sie stößt. Somit weiß die Maschine, wann sie am oberen Ende angelangt ist und kann sich dadurch zum Teil selbst konfigurieren. Hier fiel ein kleines Problem auf: Die Schrauben, die den oberen Teil des Rahmens zusammenhalten, standen so weit über, dass die Endschalter nicht ganz oben an den Stangen befestigt werden konnten. Dies sollte das Druckverfahren jedoch nicht beeinträchtigen, da dadurch lediglich der Druckraum minimal verkleinert wird.



Ein bereits befestigter Endschalter. Unten an der Platine befindet sich der Schalter, rechts werden später die Kabel angeschlossen. Oben links ist die störende Schraube zu erkennen.





Fördereinheit des Extruders (oben) und 3D-gedrucktes Plastikstück zur Befestigung am Rahmen (links).

Als nächstes habe ich den Fördermechanismus des Extruders mithilfe eines 3D-gedruckten Halters befestigt. Auch bei diesem Teil musste ich die für die Schrauben vorgesehenen Löcher wieder nachbohren. Außerdem musste ich das Plastikstück sehr stark biegen, damit es um die Fördereinheit gelegt werden konnte. Dabei bestand die Gefahr, dass das Stück bricht. Hinzu kam, dass durch den Fördermechanismus an sich eine für seine Befestigung vorgesehene Stelle blockiert wurde. Die Bauanleitung besagt hier leider nur, man solle „den Mechanismus befestigen“. Das dazugehörige Bild zeigt diesen nur von einer Seite, sodass unklar ist, wie man ihn genau fixieren soll.

Wenn ich hier nach Anleitung vorgehe ist also die gesamte Einheit nur an einer Schraube befestigt und wackelt dementsprechend ziemlich stark. Da später beim Vorwärtsziehen des Filaments jedoch Kräfte auf die Fördereinheit wirken, muss ich dort eine bessere Lösung für die Befestigung finden.

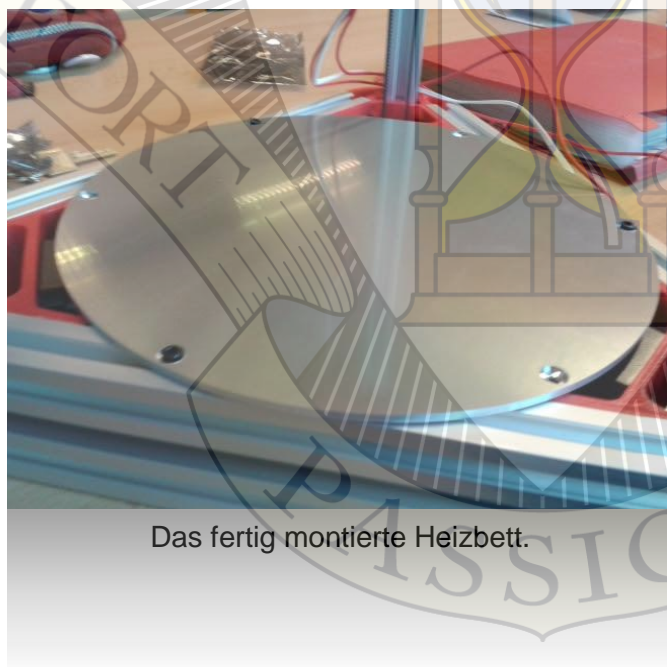


Die absolut nicht stabil am Rahmen des Druckers befestigte Fördereinheit des Extruders.

Durch den Fördermechanismus wird das Druckmaterial gespannt und mithilfe eines Art Zahnrads mit gleichmäßiger Geschwindigkeit nach vorne gezogen. Direkt an der Fördereinheit wird ein Plastikschlauch befestigt, durch den der Plastikdraht zur Düse geführt wird. Die Düse habe ich bereits provisorisch befestigt, sie wird jedoch noch mit anderen Teilen verbunden, sodass sie präziser arbeiten kann.



Die Düse, auch Druckkopf genannt. Links ist der Schlauch zu sehen, der auch an die Fördereinheit angeschlossen ist. Der zurzeit noch provisorisch befestigte Druckkopf verleiht dem Drucker schon jetzt ein futuristisches Aussehen (rechts).



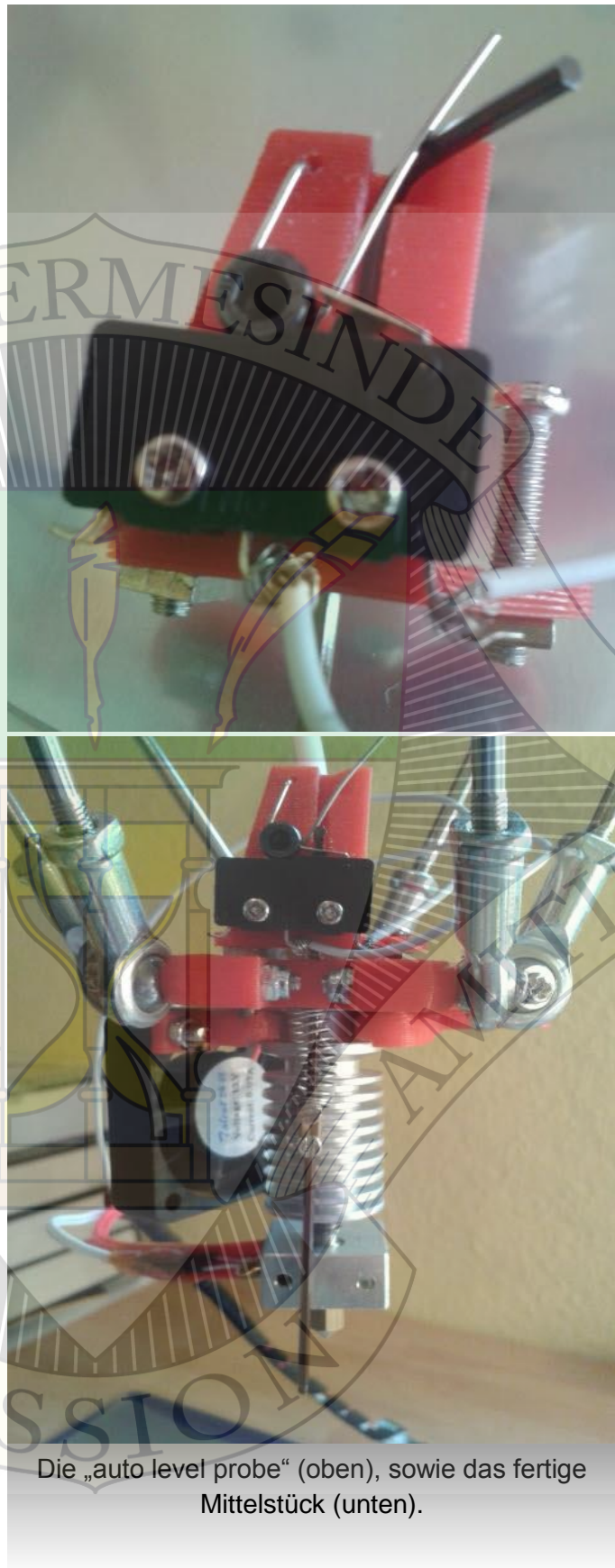
Das fertig montierte Heizbett.

Auf dem unteren Teil des Druckers habe ich außerdem bereits das Heizbett, eine beheizbare Platte, befestigt. Auf ihr wird später das Modell gedruckt, sie ist sozusagen die „Arbeitsplatte“. Das Heizbett wurde mit drei Schrauben und Muttern am Rahmen befestigt.

Den mechanischen Teil habe ich jetzt fertig, nun werde ich mit dem elektronischen Teil beginnen, der nach deutlich mehr Arbeit aussieht.



Als nächstes habe ich das Mittelstück des Druckers richtig zusammengebaut. Den provisorisch befestigten Druckkopf musste ich dazu vorerst wieder lösen. Auf dem Mittelstück befinden sich neben dem Druckkopf auch ein Lüfter (engl.: fan) und eine Vorrichtung für den automatischen Niveautest (engl.: auto level probe). Mithilfe dieser Vorrichtung kann sich der Drucker später zum Teil selbst kalibrieren. Sie besteht aus zwei 3D-gedruckten Teilen, einer Sicherungsnadel, einem Innensechskantschlüssel, einer Feder, einem Schalter und dem dazugehörigen Kabel, sowie einigen Schrauben und Muttern. Diese habe ich alle nach der leider nicht sehr aussagekräftigen Bauanleitung der Firma Sintron zusammengebaut. An einem der beiden 3D-gedruckten Teile wird mit Schrauben und Muttern der Schalter befestigt. Auch hier musste ich die Löcher für die Schrauben nachbohren. Außerdem musste der Schalter gekürzt werden damit er eine Schraube nicht berührt. An dieser Schraube wird die Sicherungsnadel befestigt. Die Schraube wird hierbei einfach durch die Schlaufe am Ende der Nadel gesteckt. Die Nadel wird ebenfalls gekürzt und eine Seite abgeknickt, sodass sie in ein hauchdünnes Loch im dahinterliegenden Plastikteil gesteckt werden kann.



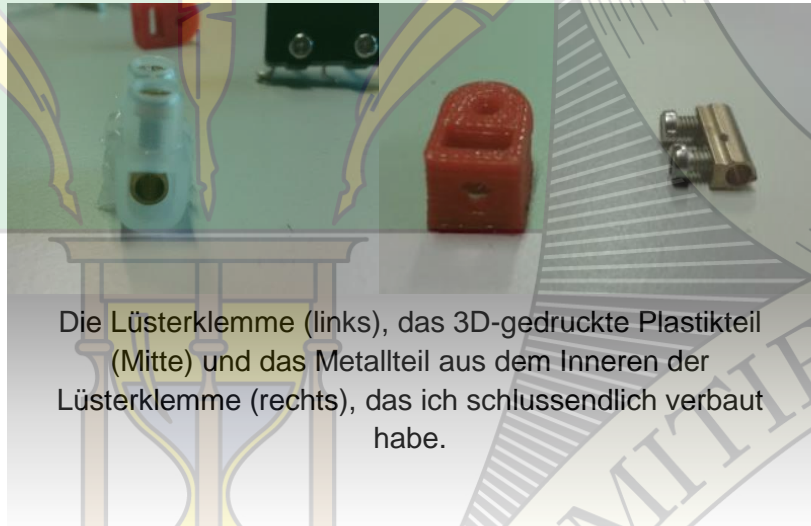
Die „auto level probe“ (oben), sowie das fertige Mittelstück (unten).



Der bereits verkürzte  
Schalter.

Der Sechskantschlüssel wird nun durch eine Öffnung von oben durch das gesamte Mittelstück gesteckt. Das gebogene Ende drückt nun auf den Schalter wenn man von unten am Sechskantschlüssel zieht. Wenn man hingegen den Schlüssel nach oben drückt, rastet er nach kurzer Zeit in eine Vertiefung ein, da die Sicherheitsnadel seitlich Druck auf ihn ausübt.

Wenn sich der Schlüssel in dieser Vertiefung befindet wird von unten die Feder befestigt. Hierfür sollte eigentlich ein 3D-gedrucktes Teil verwendet werden. Da es sich jedoch in unmittelbarer Nähe zum Druckkopf befindet, der je nach Ausdruck bis über 200 Grad heiß werden kann, zog ich es vor das Plastikteil durch ein Stück aus Metall zu ersetzen. Hierfür habe ich das innere Teil einer Lüsterklemme benutzt. Die Feder wird ganz zusammengedrückt und anschließend mit der Lüsterklemme befestigt. Hierzu werden ganz einfach die Schrauben so fest angezogen bis die Klemme dem Druck der Feder nicht mehr nachgibt. Nun kann man den Sechskantschlüssel aus der Vertiefung lösen. Durch den Druck der Feder wird er nun blitzartig und fest nach unten gezogen, sodass er einen ständigen Druck auf den Schalter auslöst.



Die Lüsterklemme (links), das 3D-gedruckte Plastikteil (Mitte) und das Metallteil aus dem Inneren der Lüsterklemme (rechts), das ich schlussendlich verbaut habe.

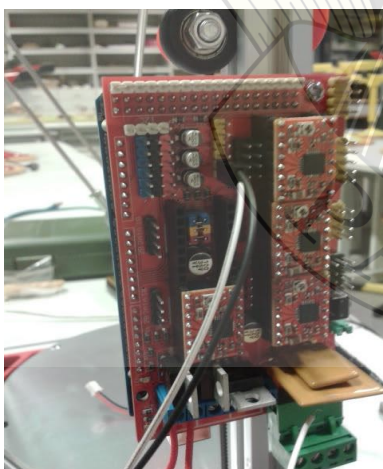
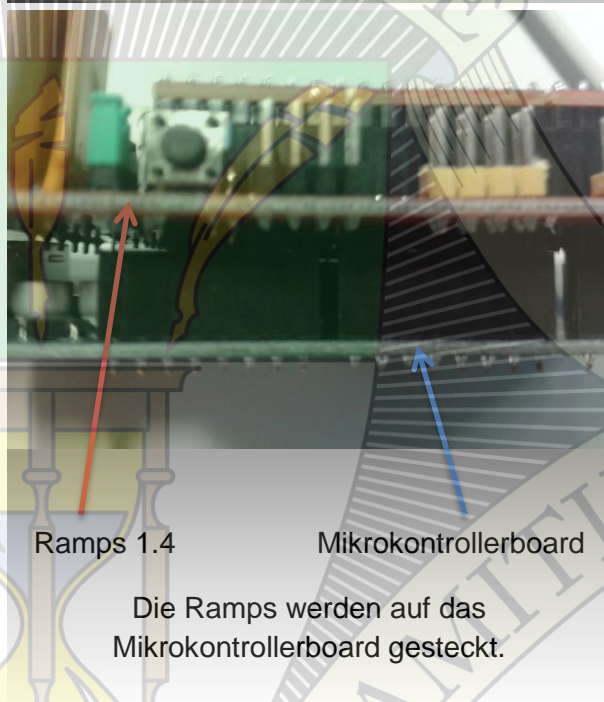
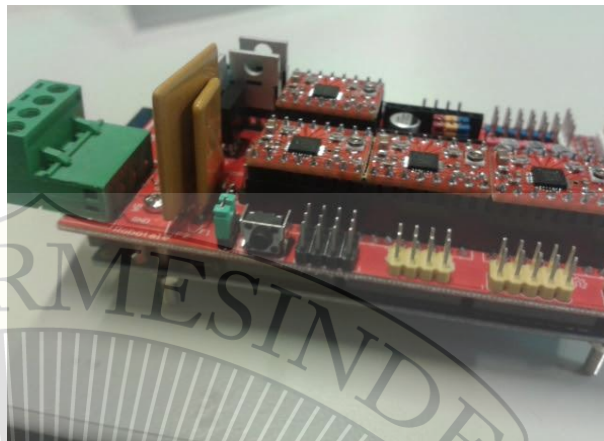
Jetzt kann auch der Druckkopf wieder befestigt werden. Dieser wird von einem 3D-gedruckten Plastikteil gehalten, welches leider etwas zu klein gedruckt wurde, beziehungsweise sich wahrscheinlich nach dem Druck beim Abkühlen zusammengezogen hat. Der runde Druckkopf soll hier einfach seitlich in eine dafür vorgesehene Öffnung in das Plastikteil hineingeschoben werden. Diese Öffnung war leider zu klein und ich musste wieder schleifen und feilen bevor das Teil zu gebrauchen war. Mit etwas Gewalt und Wachs zum Schmieren der Teile konnte ich nach einigem Zeitaufwand den Druckkopf dennoch in die Halterung klemmen. Die Halterung samt Druckkopf habe ich nun mit Schrauben und Muttern am Mittelstück befestigt.

Auch der Lüfter wurde mit zwei Schrauben und Muttern befestigt. Hier sollte man später unbedingt kontrollieren, ob der Luftstrom auch in die richtige Richtung, also in Richtung Druckkopf, bläst.



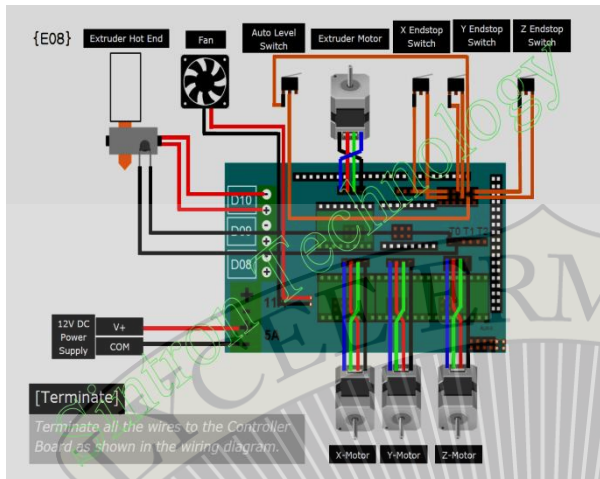
Als nächstes habe ich alle elektronischen Komponenten des Druckers mit dem Mikrocontrollerboard (engl.: microcontrollerboard) „Arduino 2560 MEGA“ und den sogenannten „Rampen“ (engl.: ramps) verbunden.

Diese „Rampen“ (ich nenne sie weiterhin bei englischem Namen „Ramps“) beinhalten unter anderem ein Plug-In für die Schritttreiber der Motoren, sowie die Steuerelektronik des Extruders. Sie erlauben außerdem einen leichten Austausch und Erweiterung der einzelnen Teile, wie z.B. für einen zweiten Druckkopf. Über die Ramps wird dem Drucker später der Strom zugeführt und an die einzelnen Verbraucher weitergeleitet. Das Mikrocontrollerboard steuert die Ramps mit Hilfe der „Arduino-Soft- und -hardware“. Das Controllerboard ist sozusagen der denkende Teil der Maschine und gibt den Ramps die Signale, wohin wie viel Strom verteilt werden soll. Die Information, was das Controllerboard tun soll, kommt vom Computer und wird in den meisten Fällen (so auch in meinem) per USB-Kabel übertragen.



Die befestigten Ramps mit Controllerboard

Die Ramps und das Controllerboard werden ineinandergesteckt und anschließend am Drucker befestigt. Laut Bauanleitung soll ich sie oben auf dem Drucker befestigen. Da hier jedoch bereits die Vorrichtung für die Filament-Rolle sitzt, entschied ich mich dazu, das Controllerboard vorerst an der Seite des Druckers festzuschrauben.



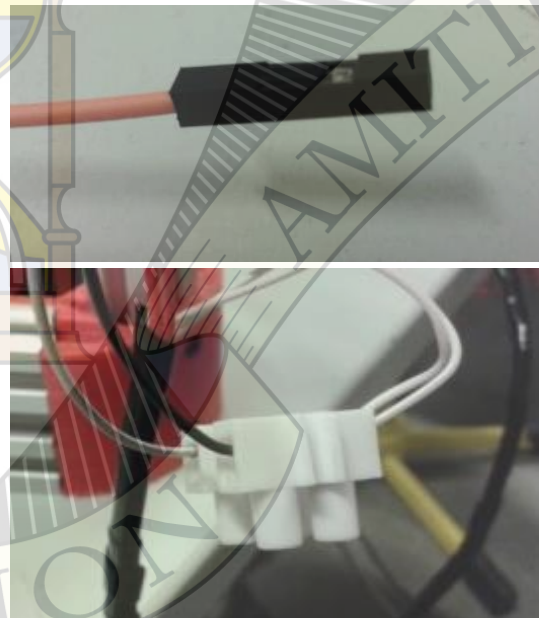
Der Schaltplan aus der Bauanleitung.

(Kossel mini instruction by sintron technology\_v2.pdf)

Ein weiteres kleines Problem fiel mir auf nachdem ich den Lüfter angeschlossen hatte: Das Kabel war viel zu kurz, das Mittelstück des Druckers konnte nicht mehr nach oben bewegt werden. Ich konnte allerdings ohne größere Umstände mit zwei Lüsterklemmen ein längeres Kabel anschließen.

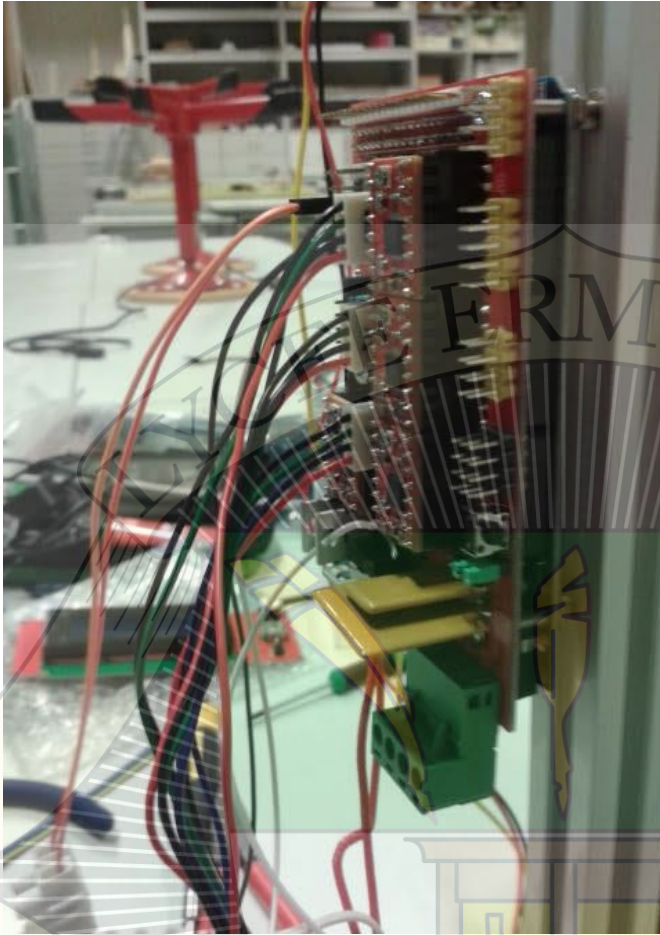
Das Kabel, das den Druckkopf mit den Ramps verbindet, ist deutlich dicker als die anderen Kabel und außerdem stark isoliert, sodass es unter den hohen Temperaturen am Druckkopf nicht leidet. Es wurde nicht per Steckverbindung, sondern durch eine Lüsterklemme an den Ramps befestigt.

Anschließend habe ich alle elektronischen Teile des Druckers laut dem Schaltplan der Bauanleitung mit den Ramps verbunden. Dies ging recht gut, da alle Kabel bereits mit Steckköpfen versehen waren. Einige Fragen blieben hier dennoch offen. Zum Beispiel sind die roten und grünen Kabel der Schrittmotoren auf dem Plan gekreuzt, in Realität jedoch schon in ein festes Steckelement eingelassen, welches keine Überkreuzung mehr zulässt. Deshalb habe ich dies vorerst ignoriert und bin nicht genau nach Plan vorgegangen. Außerdem sind an den Endschaltern jeweils nur zwei Kabel eingezeichnet, in Wirklichkeit sind jedoch drei Kabel vorhanden. Im RepRap-Forum im Internet habe ich herausgefunden, dass man eines dieser Kabel anscheinend nicht braucht. In der Bauanleitung wird das leider nicht erwähnt.



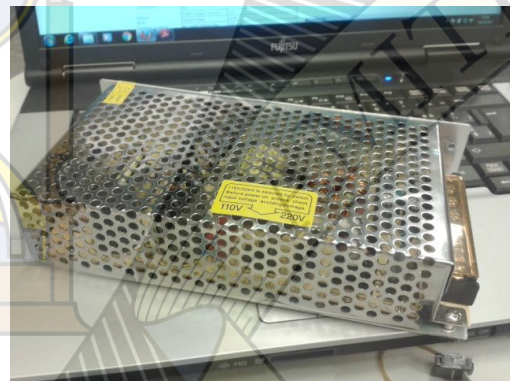
Die praktischen Steckverbindungen (oben), sowie die improvisierten Lüsterklemmen (unten).





Die (fast) fertig  
angeschlossenen Ramps. Den  
Kabelsalat werde ich wohl noch  
ein wenig ordnen müssen.  
In zahlreichen Foren findet man  
Druckdateien, mit denen man  
sich ein Gehäuse für die  
Elektronik drucken kann.

Als nächstes wollte ich den Stromtransformer,  
kurz Trafo (engl.: power terminal), an die  
Ramps anschließen. Der Trafo wird über die  
drei linken Anschlüsse (siehe Foto rechts) mit  
der Steckdose verbunden. „L“ steht für Leiter,  
„N“ für Neutral und das dritte Zeichen steht für  
Erdung. Die vier darauf folgenden Anschlüsse  
sind die Verbindungen zu den Ramps.  
Vorgesehen sind jeweils zwei COM- und zwei  
+V-Kabel. Da der Trafo jedoch mehrere  
Stromausgänge mit verschiedenen  
Spannungen hat, musste ich zuerst die  
jeweilige Stromspannung messen. Eine zu  
hohe Spannung kann im schlimmsten Fall die  
Platinen und alle daran angeschlossenen  
Geräte zerstören.



Der Trafo (oben) mit seinen  
zahlreichen Anschlüssen (unten).

Leider wurde ich zu Anfang des neuen Jahres krank und konnte fast vier Wochen nicht zur Schule gehen. Deshalb wurde die Zeit für die Fertigstellung meines 3D-Druckers langsam knapp. Ich entschied mich dafür, den Drucker mit nachhause zu nehmen, um dort weiter an ihm arbeiten zu können.



Der am Rahmen des Druckers befestigte und an den Strom angeschlossene Trafo.

Zuhause habe ich die Stromspannung des Trafos mit Hilfe eines Multimeters gemessen. Dazu musste ich zuerst den Trafo mit Strom versorgen. Das Kabel dazu lag im Bausatz mit bei. Nachdem ich den Transformator am Strom angeschlossen hatte, konnte ich nun endlich die Stromspannung des Outputs messen. Sie war voreingestellt und betrug bereits die benötigten 12 Volt. So konnte ich ohne weitere Probleme den Trafo mit den Ramps verbinden. Die Kabel wurden hier auf beiden Seiten an Lüsterklemmen befestigt. Außerdem habe ich den Trafo provisorisch am unteren Teil des Rahmens des Druckers verschraubt.

Nun konnte ich den Drucker endlich das erste Mal in Betrieb nehmen. Sobald er mit Strom versorgt ist, schaltet sich der Lüfter automatisch an. Dieser läuft immer, wenn der Drucker am Strom angeschlossen ist, um den Druckkopf auch dann noch zu kühlen wenn der eigentliche Druckvorgang schon abgeschlossen ist. Außerdem leuchtet ein LED-Lämpchen am Controllerboard auf als Zeichen dafür, dass alles richtig angeschlossen ist.

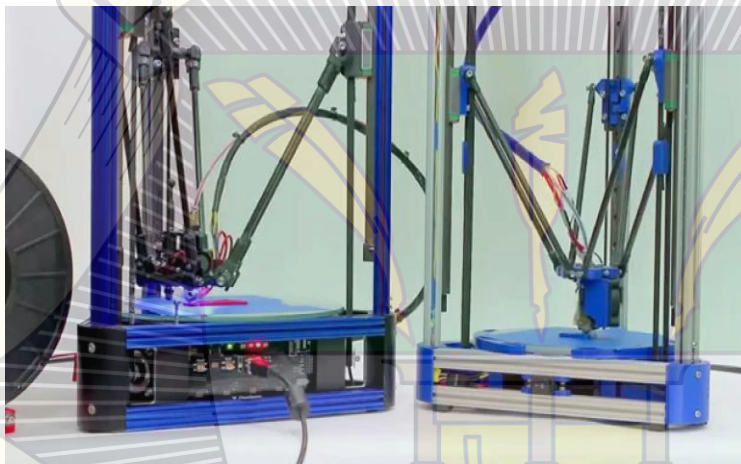
Das nächste Problem, auf das ich gestoßen bin, war das Anschließen des Heizbetts. Dieses hatte ich zuvor nur provisorisch am Rahmen befestigt. Da man das Modell auch ohne Heizbett erwerben kann, in dem Fall wird einfach auf einer Glasplatte gedruckt, war in der Bauanleitung nicht eingezeichnet, wie und wo man das Heizbett anschließen soll. Hinzu kam, dass die Kabel erst noch an die Platte angelötet werden mussten. Das Löten gestaltete sich etwas schwierig, da sich das Lötzinn sich nicht gut mit der Lötstelle am Heizbett verbunden hat. Nach einigen Versuchen konnte ich die Kabel schlussendlich befestigen. Im Internet habe ich außerdem einen erweiterten Schaltplan für mein Controllerboard gefunden, auf dem eingezeichnet war, wo man das Heizbett an den Ramps anschließen soll. Die Kabel wurden, wie bereits die Kabel des Druckkopfs, an zwei Lüsterklemmen an den Ramps befestigt.





Anschließend habe ich mir etwas Zeit genommen, um den inzwischen entstandenen Kabelsalat etwas zu ordnen.

Im RepRap Forum habe ich eine elegantere Lösung für das Anbringen der Ramps und des Controllerboards gefunden. Nutzer haben sich die unteren Eckstücke des Druckers neu ausgedruckt, und zwar etwas höher als die alten. So entsteht unter dem Drucker ein größerer Hohlraum, wo bequem die gesamte Elektronik untergebracht werden kann. Diese Eckstücke werde ich mir später vielleicht auch ausdrucken. Im Moment vereinfacht die seitliche Befestigung der Ramps das Arbeiten an den Anschlüssen allerdings noch erheblich. Durch das Anbringen der Ramps unter dem Drucker würde dieser Komfort verloren gehen, gleichzeitig sähe der Drucker aber nicht mehr ganz so „provisorisch“ aus.



Vergleich zwischen dem Sintron Kossel Mini (oben) und zwei ähnlichen Delta-Druckern (unten):

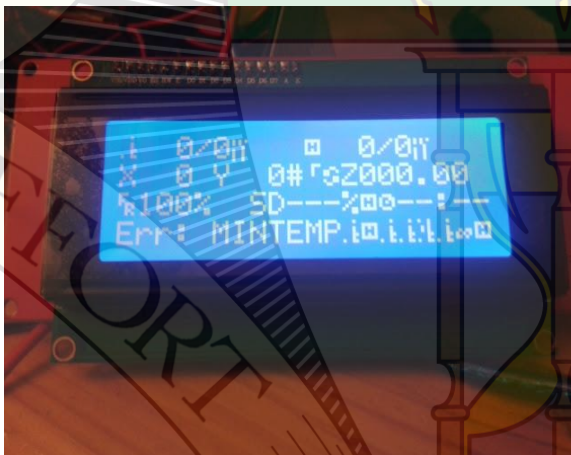
Rechts ein Drucker mit höheren Eckstücken als die vom Sintron Kossel Mini, sodass die Ramps und das Controllerboard unter dem Druckbett befestigt werden könnten.

Links kann sogar der Trafo in dem unter dem Druckbett entstandenem Hohlraum untergebracht werden.

Weiter oben habe ich bereits die Montage des Extruders beschrieben. Hier fiel das Problem auf, dass die Fördereinheit nicht richtig befestigt werden konnte, da das vorgesehene Loch für eine der beiden Schrauben durch den Fördermechanismus verdeckt wurde. Dieses Problem habe ich gelöst, indem ich zuerst die 3D-gedruckte Halterung am Rahmen des Druckers mit zwei Schrauben befestigt und anschließend erst die Fördereinheit darin eingeklemmt habe. Dazu musste ich die Halterung erneut sehr stark biegen, sie ist glücklicherweise nicht gebrochen. Eine bessere Lösung wäre hier eine aus zwei Teilen bestehende Halterung. So könnte man die untere Hälfte der Halterung am Rahmen des Druckers befestigen, den Fördermechanismus in sie hineinlegen und abschließend die obere Hälfte der Halterung an der unteren festschrauben. Alternativ könnte auch die obere Hälfte am Rahmen festgeschraubt werden und die Fördereinheit sowie die untere Hälfte der Halterung durch den beim Festschrauben entstandenen Druck fixiert werden.



Die nun richtig befestigte Fördereinheit des Extruders.



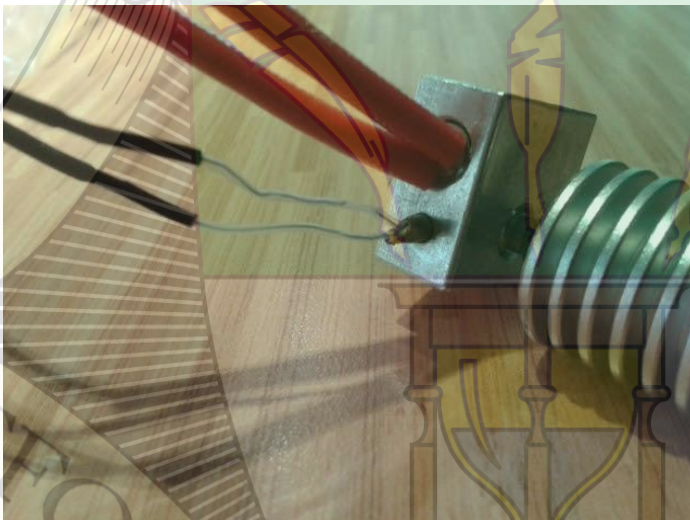
Der angeschlossene Bildschirm. Aufgrund fehlender Hard- und Software zeigt er nur zahlreiche Fehler an.

Als letztes habe ich nun den kleinen LCD-Bildschirm an die Ramps angeschlossen. Dieser Schritt wurde in der Bauanleitung leider auch nicht beschrieben, sodass ich hier wieder auf eines der zahlreichen Foren zurückgreifen musste. Solange das Mikrokontrollerboard noch nicht über eine Software verfügt, zeigt das Display allerdings nur Fehlermeldungen und seltsame Schriftzeichen an. Leider kann ich das Display nirgends am Drucker befestigen, ohne dass ich Gefahr laufe, dass es leicht abbricht oder -knickt. Deshalb werde ich es vorerst nach jedem Gebrauch demontieren und vor Gebrauch wieder anschließen. Später werde ich mir wahrscheinlich ein Gehäuse drucken, in dem ich sowohl den Trafo als auch das Display unterbringen kann.



## Kapitel 2: Anschließen und Kalibrieren des Druckers

Die Soft- und Hardware am Drucker zu installieren, sowie die Firmware hochzuladen erwies sich als zeitaufwendiger als ich erwartet hatte. Zahlreiche Downloadfehler haben ständig zu Fehlfunktionen geführt. Da die Arduino-Konsole plattformübergreifend arbeitet kam es außerdem zu Komplikationen mit dem 32-bit Windows meines Laptops, sodass ich die Firmware nicht öffnen konnte. Dadurch dass mehrere Programme auf einmal laufen müssen, um die Verbindung zwischen Drucker und Laptop zu ermöglichen, kam es oft zu Problemen, weil das gerade ausgeführte Programm nicht auf ein anderes Programm zugreifen konnte. Schlussendlich nach langer Arbeit, einigem „Herumprobieren“ und einer komplett neuen Installation aller Programme, flackerte dann die Nachricht „Upload erfolgreich abgeschlossen“ auf. Das Mikrokontrollerboard verfügt nun über die benötigte Soft-, Hard- und Firmware zum Drucken.



Der auf diesem Foto obere Draht des Thermistors ist innerhalb der Isolierung gebrochen.

Nun verband ich den Drucker mit dem Computer. Mit einem Host-Programm konnte ich manuell einzelne Arbeitsschritte des Druckers testen. Aufgrund einer Fehlermeldung des Thermistors, dem Teil am Druckkopf des Druckers, der die Temperatur misst, verweigerte das Programm mir allerdings die Verbindung. Der Thermistor schien nicht richtig mit den Ramps verbunden zu sein, er konnte die Temperatur nicht weitergeben. Da ein Überhitzen des Druckkopfs ohne den Thermistor nicht erkannt werden kann, verweigerte mir das Programm aus Sicherheitsgründen den Zugriff. Also

versuchte ich herauszufinden, worin das Problem lag. Ich hatte den Thermistor eigentlich korrekt angeschlossen. Wieder kamen mir diverse Foren zu Hilfe. Schlussendlich stellte sich heraus, dass einer der Drähte des Thermistors innerhalb der Isolierung an einer kaum sichtbaren Stelle gebrochen war. Vermutlich wurde hier die Zinnkappe, die zur Befestigung dient, bei der Produktion zu fest zusammengedrückt und dadurch der Draht beschädigt. Ich schrieb den Kundendienst der Firma Sintron an und erkundigte mich bei einem Mitarbeiter, ob er das Teil ersetzen könnte. Dies musste er zuerst beim Hersteller nachfragen, schlussendlich bestätigte er mir jedoch, dass er mir den Thermistor erneut senden würde. Dies sollte jedoch voraussichtlich drei Wochen dauern, da es aus Hong Kong, wo zu der Zeit außerdem Ferien waren, importiert werden musste.

Da ich jedoch nicht genug Zeit hatte, um vier Wochen Pause am Bau des Druckers zu machen, versuchte ich, im Internet einen anderen Thermistor zu finden. Weil mein Druckkopf allerdings einen Thermistor mit Befestigungskappe benötigt, ich einen solchen jedoch nicht mit schnelleren Lieferzeiten fand, beschloss ich, mir einen komplett neuen Druckkopf bei der britischen Firma „e3d“ zu bestellen. Das von Sintron mitgelieferte Teil scheint ein Nachbau zu sein, wohingegen dieser Druckkopf ein hochwertiges Originalteil ist.

Eigentlich ging ich davon aus, dass der gesamte Druckkopf fertig zusammengebaut geliefert würde, er kam jedoch in Einzelteilen an. Ein Visitenkärtchen in der Verpackung wies auf eine Bauanleitung im Internet hin, die den Zusammenbau des Druckkopfes beschreibt. Mithilfe dieser Bauanleitung ([http://wiki.e3d-online.com/wiki/E3D-v6\\_Assembly](http://wiki.e3d-online.com/wiki/E3D-v6_Assembly)) konnte ich den Druckkopf mit ein wenig Zeitaufwand zusammenbauen. Ein kleines Problem fiel mir auf, als ich den Druckkopf mit der

Fördereinheit verbinden wollte. Der Anschluss des mitgelieferten Schlauchs hatte einen zu großen Durchmesser und konnte nicht an den Fördermechanismus angeschlossen werden. Den von Sintron mitgelieferten Schlauch konnte ich erst auch nicht an dem neuen Druckkopf befestigen, da dieser Schlauch mithilfe eines Gewindes befestigt wird, der neue Druckkopf aber eine Steckvorrichtung hat. Schlussendlich gelang es mir das Gewinde am alten Schlauch zu lösen, sodass ich diesen in der Steckvorrichtung des neuen Druckkopfes befestigen konnte.

Um den alten Druckkopf zu demontieren musste ich den gesamten Teil des automatischen Niveautests wieder abschrauben. Nachdem ich dies getan hatte, konnte ich den neuen Druckkopf einbauen. Dieser schien in der Halterung zuerst etwas zu locker zu sitzen, nach dem Anschrauben an das Mittelstück hielt er jedoch genauso gut wie der vorherige Druckkopf.



Die Einzelteile des neuen Druckkopfs (oben) sowie der fertig am Heizblock montierte Thermistor (unten).

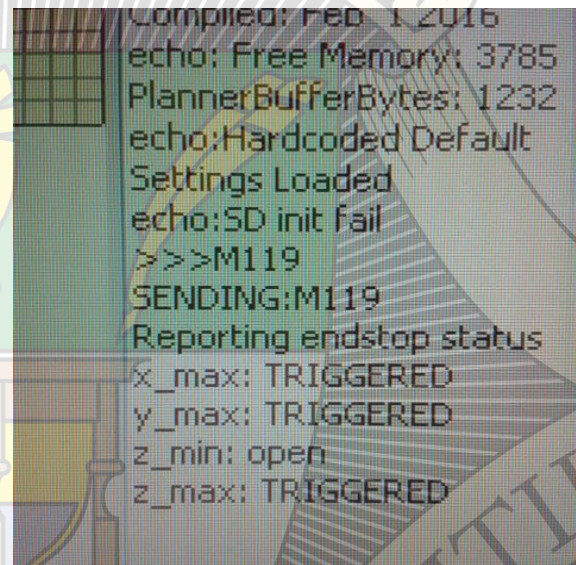


Mit dem neuen Druckkopf wurde außerdem ein Lüfter mitgeschickt, der mithilfe einer Luftführung bessere Kühlergebnisse erzielen kann. Ich ersetzte meinen alten Lüfter durch den von e3d.

Nachdem ich das Teil für den automatischen Niveautest wieder befestigt hatte, schloss ich den Drucker erneut an den Computer an. Jetzt funktionierte alles. Nun sollte ich durch verschiedene Befehle, die ich im Host-Programm am Computer eingeben konnte, die einzelnen Komponenten des Druckers auf ihre korrekte Funktion testen. Die einzelnen Befehle für die Überprüfung der Komponenten werden in der Bauanleitung beschrieben. Als erstes sollte ich mit dem Befehl M119 den Status der Endstops aufrufen. Diese zeigen bei korrekter Funktion „triggered“ an wenn sie mit dem Rollwagen in Kontakt sind und „open“, wenn sie nicht in Kontakt sind.

Leider funktionierten sie nicht richtig. Sie zeigten „triggered“ an, wenn sie nicht mit dem Rollwagen in Kontakt, also eigentlich „open“ waren. Ich betätigte sie von Hand, nun zeigten sie „open“ an, obwohl sie eigentlich „triggered“ waren. Dies war für alle Endstops der Fall. Ich setzte mich also wieder mit Sintron in Verbindung und fragte nach was das Problem sein könnte. Sintron schickte mir daraufhin einen Link zur Firmware des Druckers und bat mich, diese erneut zu installieren. Nachdem ich dies getan hatte, funktionierten die Endstops korrekt.

Da ich wissen wollte, weshalb dieser Fehler aufgetreten war, verglich ich die Firmware, die ich anfangs benutzt hatte mit der neuen, die Sintron mir geschickt hatte. Ich fand heraus, dass die Endstops innerhalb der Firmware auf „true“ oder „false“ gestellt werden können. In der alten Firmware standen sie auf der falschen Einstellung, auf true anstatt auf false. Dies ist ähnlich wie wenn man die Kabel eines Lichtschalters vertauscht. Die alte Firmware hatte ich über einen Link in der Bauanleitung heruntergeladen. Die Bauanleitung besteht aus zwei Teilen, der eine wurde von Sintron geschrieben, der zweite wurde von der Firma „Bloomker“ übernommen. Der Delta-Drucker von Bloomker ist dem von Sintron zwar ähnlich, verwendet jedoch eine andere Firmware. Sintron hat jedoch bereits eine eigene, auf ihren Drucker abgestimmte Firmware geschrieben. Anfangs hatte ich also die falsche Firmware installiert, deshalb funktionierten die Endstops nicht richtig.



```
Compiled: Feb 1 2016
echo: Free Memory: 3785
PlannerBufferBytes: 1232
echo: Hardcoded Default
Settings Loaded
echo: SD init fail
>>>M119
SENDING:M119
Reporting endstop status
x_max: TRIGGERED
y_max: TRIGGERED
z_min: open
z_max: TRIGGERED
```

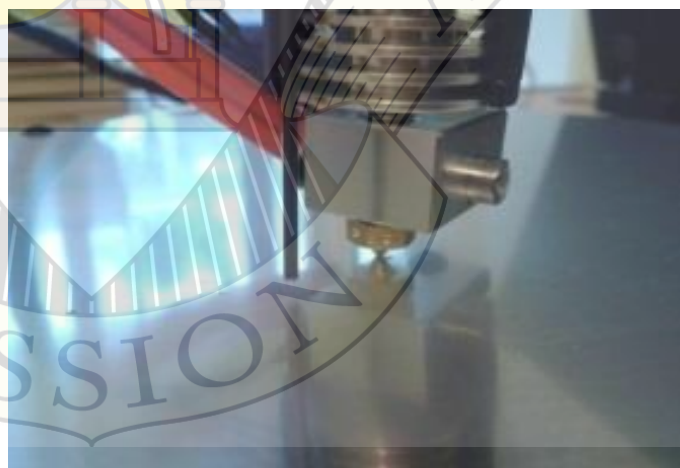
Die Endstops zeigen „TRIGGERED – TRIGGERED – OPEN – TRIGGERED“, anstatt „OPEN – OPEN – TRIGGERED – OPEN“ an.

Als nächstes sollten die Motoren getestet werden. Dazu musste ich zuerst im Host-Programm den „Home“ Button betätigen oder den Befehl „G28“ eingeben. Daraufhin bewegen sich alle Rollwagen nach oben, bis sie gegen die Endstops stoßen. Durch die nun auf „triggered“ gestellten Endstops weiß der Drucker, dass alle Rollwagen am oberen Ende angekommen sind, dies ist die „Home-Position“ des Druckers. Wichtig ist, dass die Prüfung der Endstops vor dem Test der Motoren durchgeführt wird. Wenn die Rollwagen gegen die Endstops stoßen, diese jedoch ein falsches oder kein Signal aussenden, würden sich die Motoren weiter drehen und die Rollwagen weiter nach oben bewegen. Dabei würden dann entweder das Gestell oder die Motoren beschädigt oder im schlimmsten Fall zerstört. Man spricht hier auch von einem Achsunfall (engl.: axis crash). Beim Test der Motoren traten bei mir keine Probleme auf.

Nun sollte die Entfernung der Home-Position zum Druckbett überprüft werden. Diese wird in der Firmware in Millimetern hinter dem Befehl „#define MANUAL\_Z\_HOME\_POS“ angegeben. Voreingestellt war diese Zahl auf 235mm (#define MANUAL\_Z\_HOME\_POS 235). Anhand dieser Zahl erkennt der Drucker, wie weit er sich von seiner Home-Position aus nach unten bewegen kann bis er sich auf 0mm Höhe befindet, also null Millimeter über dem Druckbett. Der Druckkopf kann sich nicht weiter als das in der Firmware angegebene Maß nach unten bewegen. Mit dem Befehl „M114“ können die derzeitigen Koordinaten des Druckkopfes abgerufen werden. Auf der Home-Position betragen diese X0 Y0 Z235. Um nun den in der Realität exakten Abstand zum Druckbett zu messen wird der Druckkopf mit dem Befehl „G1 Z10“ bis auf 10mm über das Druckbett bewegt. Diese 10 Millimeter entsprechen nicht wirklich dem Maß in der Realität, sondern werden vom Drucker anhand der Firmware berechnet:  $Home-Position = Z235; G1 Z10. 235mm - 10mm = 225mm$ . Der Drucker bewegt den Druckkopf also 225mm nach unten. Nun sollte ich den Druckkopf zuerst in Millimeter-, anschließend in Zehntelmillimeterschritten weiter nach unten bewegen.

Wenn sich der Druckkopf bis auf einen Zehntelmillimeter und nicht weiter über dem Druckbett bewegen lässt, also die Position „Z0“ sich exakt einen Zehntelmillimeter über dem Druckbett befindet, ist die in der Firmware eingegebene Zahl korrekt.

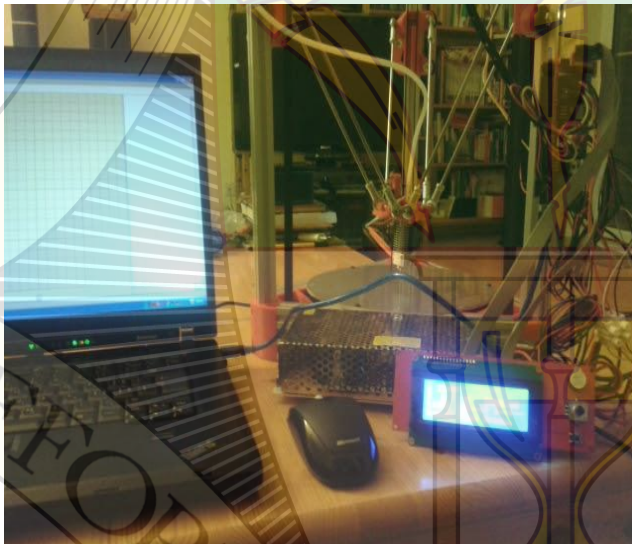
Wenn sich der Druckkopf nicht bis einen Zehntelmillimeter über dem Druckbett bewegen lässt, sondern sich schon früher nicht mehr nach unten bewegt, ist die in der Firmware angegebene Zahl zu klein. Der Drucker kann sich weiter als (hier) 235mm nach unten bewegen. Die Zahl in der Firmware muss durch eine größere ersetzt werden. Die Firmware muss daraufhin erneut auf dem Drucker installiert werden.



Der Druckkopf befindet sich nur noch einen Zehntel Millimeter über dem Druckbett.



Wenn sich der Druckkopf bis gegen das Druckbett bewegen lässt, ist die in der Firmware angegebene Zahl zu groß. Dies war auch bei mir der Fall. Der Druckkopf kann sich die hier angegebenen 235mm nicht komplett nach unten bewegen, da die Entfernung zum Druckbett geringer ist. Die Zahl in der Firmware muss durch eine kleinere ersetzt werden. In diesem Fall lässt sich diese Zahl errechnen. Man bewegt den Druckkopf in Zehntelmillimeterschritten soweit nach unten, dass er das Druckbett gerade eben berührt, anschließend wieder einen Zehntelmillimeter nach oben. Er befindet sich nun also 0,1mm über dem Druckbett. Mit dem Befehl M114 ruft man nun die Koordinaten der Achsen auf. In meinem Fall befand sich der Druckkopf laut Host-Programm auf Z1.3, also 1,3 Millimeter über dem Druckbett, während er in sich der Realität nur 0,1 Millimeter über dem Druckbett befand. Daraus ergibt sich:  $235.00\text{mm}$  (angegebene Zahl in der Firmware) –  $1.30\text{mm}$  (indirekte Höhe des Druckkopfs) =  $233.70\text{mm}$  (tatsächliche Höhe der Home-Position). Die Z-Homeposition wird in der Firmware durch die neu errechnete Höhe ersetzt. Die Firmware muss daraufhin erneut hochgeladen werden.



Kalibrierung des Druckers.

Daraufhin habe ich den Test nochmal ausgeführt, um zu kontrollieren, ob die nun in der Firmware eingegebene Zahl exakt der Höhe der Home-Position entspricht. Bei mir war dies der Fall. Falls nicht muss die Zahl erneut ersetzt und der Test so lange wiederholt werden, bis sich der Druckkopf bis exakt 0,1mm über das Druckbett bewegt. Außerdem sollte man diesen Test nach längerem Nichtgebrauch, sowie nach Arbeiten (z.B. Verbesserungen am Rahmen) am Drucker wiederholen, um sicherzustellen, dass sich die Höhe nicht verstellt hat. Bei Zahlen im Zehntelmillimeterbereich geschieht dies relativ schnell.

Anschließend überprüfte ich den Extruder auf seine Funktionstüchtigkeit. Über einen Button im Host-Programm testete ich die Fördereinheit. Aufgrund zwei vertauschter Kabel drehte sie sich falsch rum, sodass sie das Filament nicht in den Druckkopf einführte, sondern es herauszog. Nachdem ich die beiden vertauschten Kabel richtig angeschlossen hatte, funktionierte der Fördermechanismus korrekt.

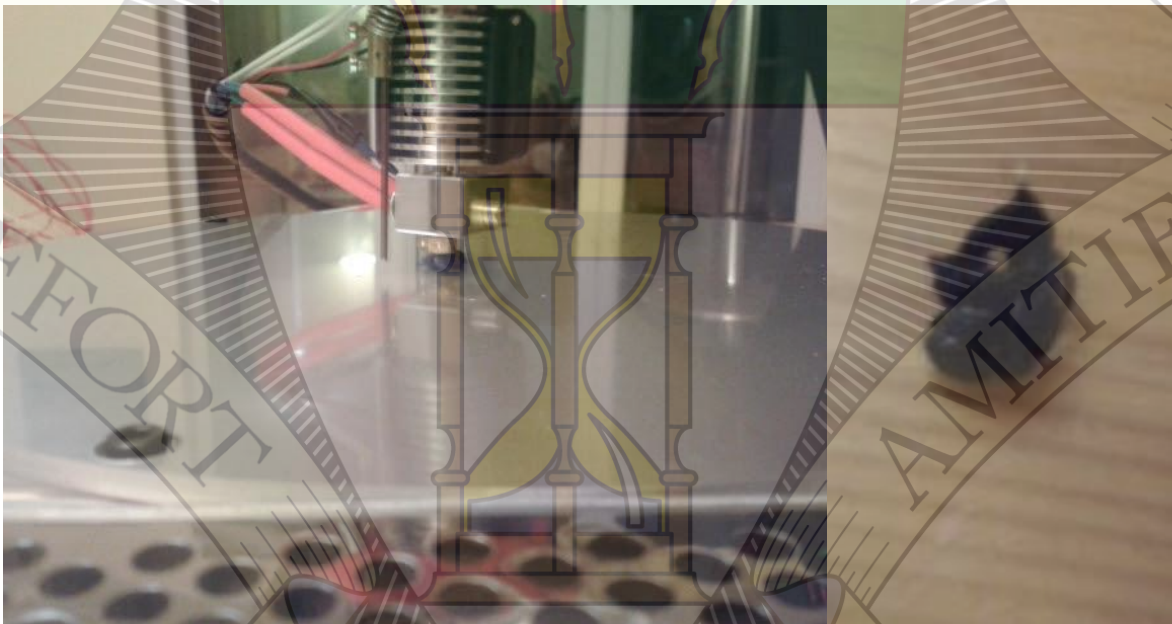
Nun kontrollierte ich, ob der Druckkopf funktionierte. Ich stellte ihn über das Host-Programm auf 185°C. Nach ca. zwei Minuten hatte der Druckkopf die eingestellte Temperatur erreicht. Daraufhin kontrollierte ich, ob Temperatur konstant auf 185°C blieb und wiederholte den Test mit 230°C. Beide Male war der Test erfolgreich.

### Kapitel 3: Erste Druckversuche



Druckmaterial des Anbieters „ColorFabb“.

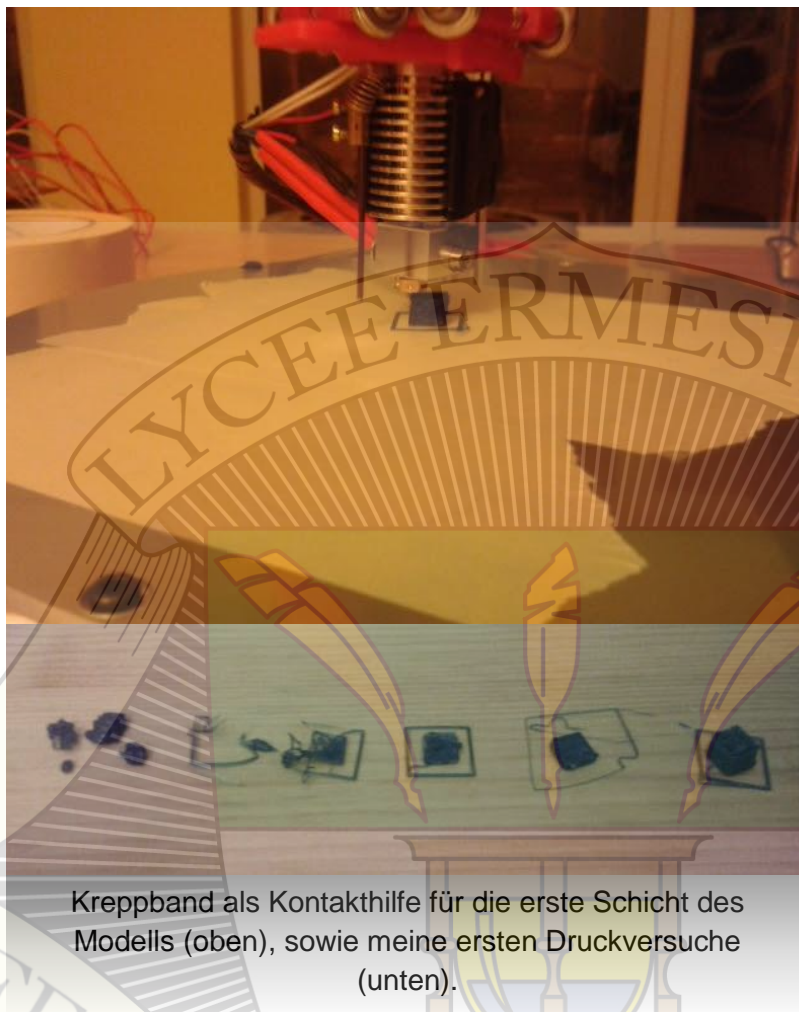
Ich habe mir PLA-Filament des Anbieters „ColorFabb bestellt. Dieser hat im Internet größtenteils positive Bewertungen und wird außerdem von Florian Horsch, dem Autor des Buches „3D-Druck für alle“ empfohlen. Nachdem das Filament geliefert worden war, konnte ich meine ersten Druckversuche starten. Zu Beginn wollte ich einen Würfel mit einer Seitenlänge von einem Zentimeter drucken. Anfangs kamen bloß undefinierbare Plastikkumpen aus dem Druckkopf. Ich stellte die Drucktemperatur etwas höher, dadurch wird das Filament etwas weicher und kann besser aus der Düse austreten.



Anfängliche Startschwierigkeiten.

Nun trat aber zusätzlich das Problem auf, dass die erste Schicht des Drucks nicht am Heizbett haften blieb. Das Heizbett funktionierte leider immer noch nicht, obwohl ich es wie in der Email von Sintron beschrieben angeschlossen hatte. Das Druckmaterial löste sich an manchen Stellen direkt nach dem Aufbringen, sodass das zu druckende Objekt entweder verrutschte oder sich komplett löste. Schlussendlich gab ich nach ca. zehn fehlgeschlagenen Druckversuchen auf und suchte nach einer Lösung für das Haftungsproblem.

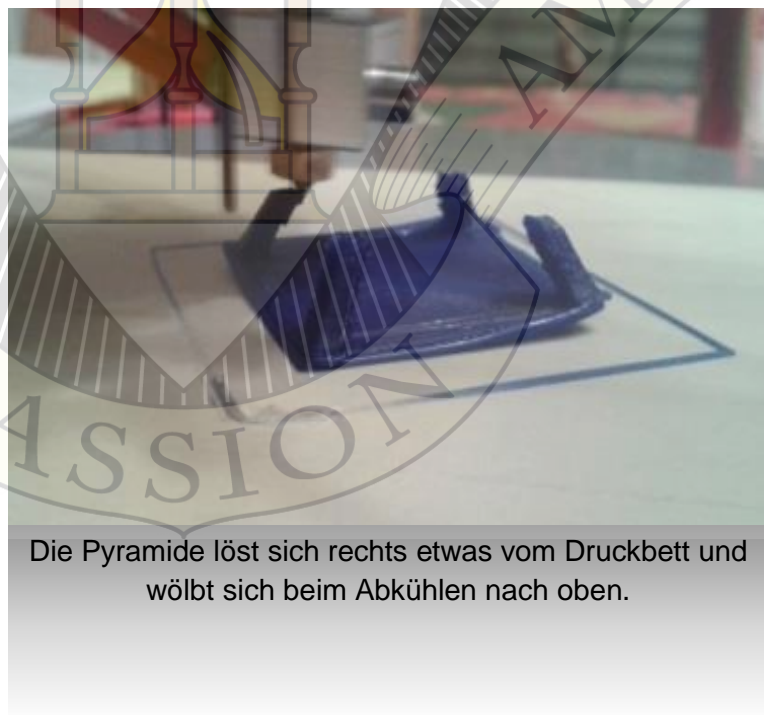




Kreppband als Kontakthilfe für die erste Schicht des Modells (oben), sowie meine ersten Druckversuche (unten).

Einige Foren empfehlen das Aufbringen von „Bluetape“, einem speziellem Kreppband, auf dem Druckbett. Dieses gibt dem Druckobjekt einen festeren Halt durch seine raue Oberfläche. Zusätzlich kann man es mit feinem Schleifpapier anrauen und mit ein wenig Waschbenzin abwischen um Staubpartikel zu entfernen. Ich bestellte mir Bluetape im Internet und behalf mir vorerst mit gewöhnlichem Kreppband. Nachdem ich dieses aufgeklebt hatte, haftete der Druck etwas besser, ich konnte drei Viertel des Würfels drucken, bevor er sich wieder löste.

Da der Würfel nicht am Druckbett haftete, versuchte ich ein anderes Objekt auszudrucken. Ich entschied mich für die „Hollow calibration pyramide“, welche eine größere Grundfläche hat, von der ich mir eine bessere Haftung erhoffte. Diese besteht aus ziemlich schrägen Streben, die hohe Druckpräzision erfordern. Die Streben stehen auf einer Grundfläche von 36 x 36 Millimetern. Die Fläche schien anfangs zu haften, löste sich allerdings nach kurzer Zeit an einer Ecke.



Die Pyramide löst sich rechts etwas vom Druckbett und wölbt sich beim Abkühlen nach oben.

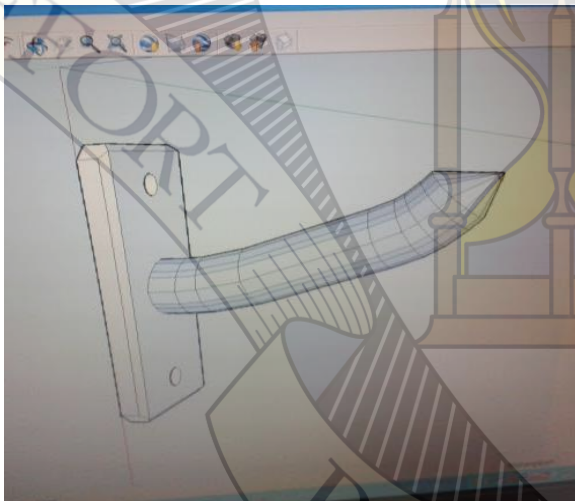
Ich brach den Druck dennoch nicht ab. Nach einer Druckzeit von ca. 40 Minuten war die Pyramide fertiggestellt. Aufgrund des Ablösens der einen Ecke war der gesamte Druck schlussendlich jedoch etwas schief.

Mir fiel auf, dass die Pyramide relativ klein war, ich maß nach und stellte fest, dass sie anstatt 36mm nur 32mm lang beziehungsweise breit war. Ich maß auch die Seitenlänge des zu drei Viertel gedruckten Würfels nach. Diese waren 9mm anstatt 10mm lang. Mein Drucker druckte also ungefähr 10% zu klein.



Die fertig gedruckte Pyramide.

Ich überprüfte die Längenangaben der diagonalen Stangen, die das Mittelstück mit den Achsen verbindet, die Entfernung des Druckkopfs zu den Achsen, sowie die Entfernung zwischen dem Druckkopf und der Stelle, an dem die diagonalen Stangen am Mittelstück befestigt werden. Ich musste leider feststellen, dass diese Maße in der Firmware von Sintron falsch angegeben waren. Ich ersetzte die voreingestellten Längen durch die meines Druckers. Der Drucker druckt nun zwar immer noch etwas zu klein, jedoch nur noch ca. 4%.



Der selbstkreierte Kabelhalter.

Als nächstes zeichnete ich mir in SketchUp (einer 3D-Modellierungssoftware) einen Haken, den ich später ausdrucken und an meinem Drucker befestigen wollte, um das Stromkabel daran aufrollen zu können. Dieser hat eine Grundfläche von ca. 60mm Länge und 30mm Breite. Als ich den Druckvorgang startete, fiel mir ein weiteres Problem auf. Sobald die Düse sich weit vom Mittelpunkt des Druckbetts entfernte, schrammte sie über das Heizbett. Dieses schien nicht eben zu sein. Ich besorgte mir eine Glasplatte, die ich auf das Heizbett legen konnte und korrigierte die Höhe des Druckraums mithilfe der Funktion `MANUAL_Z_HOME_POS` in der Firmware.

Ich testete die Ebenheit des Druckbetts nun manuell indem ich in meinem Hostprogramm den Druckkopf auf Höhe 0 und anschließend seitlich bewegte. Die Glasplatte ist komplett eben, trotzdem lief die Düse nach ungefähr 25mm auf ihr auf. Ich bewegte den Druckkopf in die entgegengesetzte Richtung. Dort vergrößerte sich der Abstand zwischen Düse und Druckbett. Aufgrund dieses zu großen Abstands zwischen Druckbett und Düse würde das Filament an diesen Stellen nicht haften.



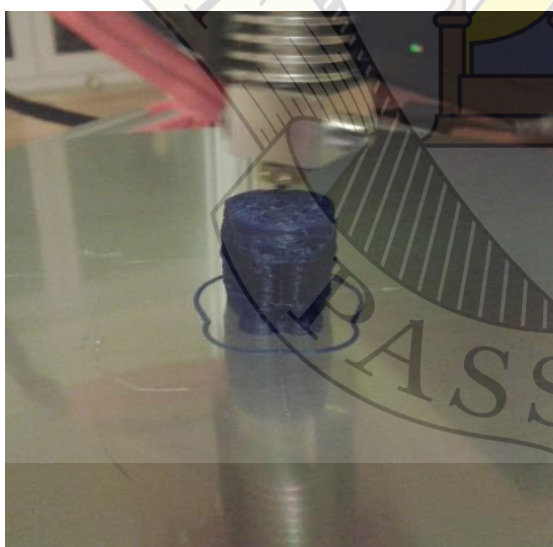
Es ist also nicht das Heizbett, das uneben ist, sondern der Druckkopf der sich nicht gleichmäßig in der Horizontale bewegt. Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich darauf, dass die vertikalen Stangen nicht hundertprozentig gerade stehen. Ich werde also den gesamten Drucker noch einmal auseinanderbauen und überarbeiten müssen. Dies werde ich aber erst nach der Präsentation meiner Travail personnel tun, da ich nicht riskieren will, dass ich den Drucker bis zu diesem Zeitpunkt nicht wieder funktionstüchtig habe. Zurzeit ist meine Druckfläche also auf ca. 25 x 25 Millimeter begrenzt.

Auf „Thingiverse“, einer Internetplattform, auf der Nutzer ihre 3D-Designs veröffentlichen können, fand ich zwei Modelle mit kleiner Grundfläche, die ich trotz eingeschränktem Druckraum drucken konnte, eine sitzende Katze (MakerBot\_Digitizer\_LaserCat: <http://www.thingiverse.com/thing:146265>) und ein kleines Boot (3D-Benchy-Boat: <http://www.thingiverse.com/thing:763622>).

Inzwischen wurde das Bluetape geliefert, welches ich nun nach Entfernung des alten Kreppbands auf meine Glasplatte klebte.

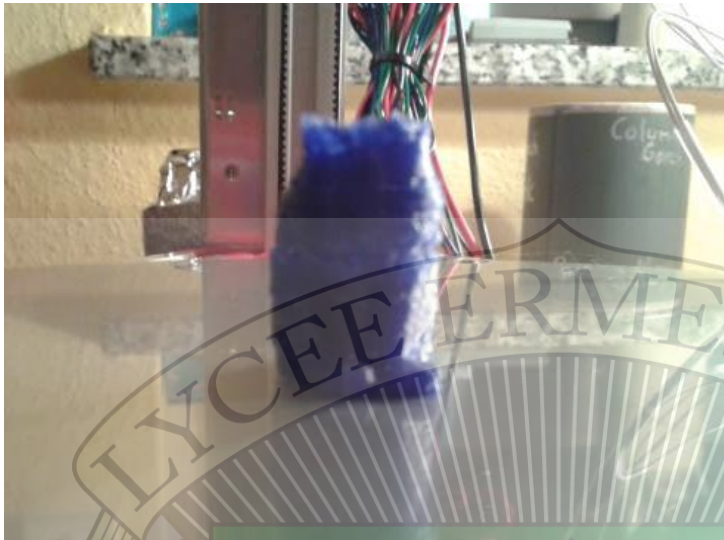
Da ich immer noch keine Antwort von Sintron bezüglich des nicht funktionierenden Heizbettes erhalten hatte, beschloss ich zu testen, ob das Heizbett überhaupt funktionierte. Ich schloss es direkt an den Trafo an anstatt an die Ramps. Es wurde ca. 60°C warm, es funktionierte also. Ich schrieb Sintron erneut an und erkundigte mich, was das Problem sein könnte. Sie baten mich darum, ein Video zu drehen, in dem zu sehen ist, wie ich das Druckbett angeschlossen habe. Dieses lud ich nach dem Dreh auf Youtube hoch, sodass auch andere mein Problem sehen und mir eventuell helfen konnten. Sintron schickte ich den Link zu diesem Video, woraufhin sie mich baten etwas Geduld zu haben, sie würden sich darum kümmern und bald wieder melden.

Da ich trotz des noch nicht richtig funktionierenden Heizbettes weitere Druckversuche starten wollte, ließ ich es einfach am Trafo angeschlossen. Ich konnte die Temperatur des Heizbetts zwar nicht verstellen oder beeinflussen, da sie allerdings konstant zwischen 60 und 70°C blieb, störte das vorerst aber nicht weiter.



Die Katze während des Druckvorgangs.

Ich startete nun einen ersten Druckversuch für die Katze, die ich Thingiverse gefunden hatte. Die ersten Schichten hafteten nun gut, mithilfe des Bluetapes und des 60°C warmen Druckbetts. Bei ungefähr einem Drittel des Drucks stockte die Filamentausgabe. Das Zahnrad der Fördereinheit schob das Druckmaterial nicht mehr vorwärts. Ich drückte das Filament von Hand nach und musste feststellen, dass der Widerstand des Druckmaterials im Druckkopf ziemlich hoch war. Trotzdem konnte das Filament durch das manuelle Anschieben nun wieder mithilfe der Fördereinheit aus der Düse ausgegeben werden. Im Druckobjekt ist der Zwischenfall durch einige nicht gedruckte Schichten sichtbar.



Die missglückte Katze.

Kurz vor dem Ende des Drucks stockte die Filamentausgabe erneut. Dieses Mal war der Druckkopf komplett verstopft, sodass ich das Druckmaterial auch von Hand nicht weiter schieben konnte. Ich musste den Druckvorgang abbrechen, das Ergebnis ist eine kopflose Katze.

Beim anschließenden Druck des BenchyBoats traten die gleichen Probleme auf. Auch hier stockte die Filamentausgabe, sodass ich den Druck mehrmals schon früh abbrechen musste.

Ich schraubte den Druckkopf auseinander um das verstopfte Filament zu entfernen. Dieses staute sich zu einem sehr dicken Klumpen zusammen, ich wunderte mich nicht mehr, dass ich es nicht mal mehr per Hand nachschieben konnte. Nachdem das Filament entfernt war, schraubte ich den Druckkopf wieder zusammen. In einigen Foren sowie im Buch „3D-Druck für alle“ fand ich heraus, dass bei vielen Druckern mit voneinander getrennter Fördereinheit und Druckkopf diese Verstopfung durch das sogenannte Retracting entsteht. Als Retracting bezeichnet man eine Einstellung, die dem Drucker befiehlt, vor jeder Aussparung im Druckobjekt das Filament ein Stück zurückzuziehen, um die in Kapitel 3 des ersten Teils meiner Arbeit beschriebenen Fäden (engl.: strings) zu vermeiden. Diese Aussparungen können z.B. die Lücken zwischen den Streben der Pyramide (Bild S.52) oder die Fenster des BenchyBoats (Bild S.53) sein. Durch den Spielraum zwischen Druckkopf und Fördermechanismus staut sich das Druckmaterial irgendwann vor der Düse, bis es nicht mehr ausgegeben werden kann.

Inzwischen hatte mir jemand, der auch Erfahrung mit dem Bau von 3D-Druckern hat, eine Nachricht unter meinem Youtube-Video, in dem ich die Probleme mit meinem Heizbett beschreibe, hinterlassen. Er meinte, ich müsste beide 12V Outputs des Trafos an die Ramps anschließen damit das Heizbett betrieben werden kann. Ich hatte, wie in der Bauanleitung von Sintron angegeben, nur einen Output angeschlossen. Ich verifizierte die Aussage des Nutzers in einigen Foren, sie schien wahr zu sein.

Nachdem ich die Ramps nun mit den beiden 12V Outputs des Trafos verbunden hatte, funktionierte das Heizbett einwandfrei. Nun konnte ich bei meinen nächsten Druckversuchen endlich das Heizbett wie vorgesehen verwenden.

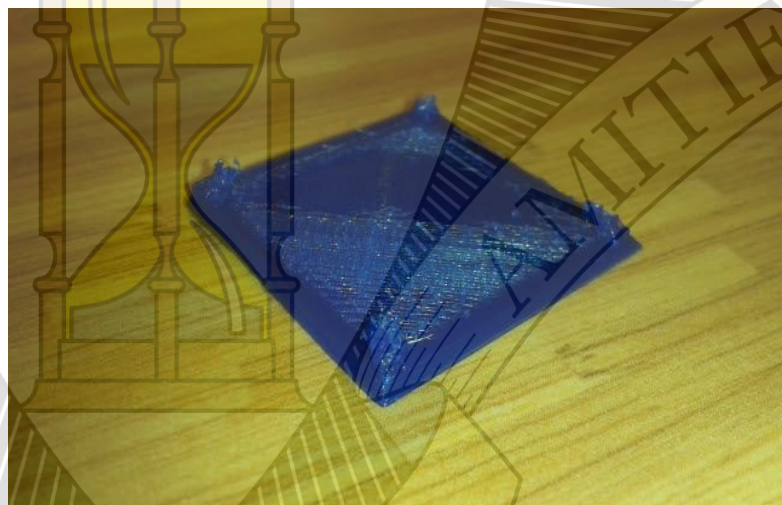




Die 40%, 50%, 60%, und 70% großen Pyramiden (links), sowie mein erster Druckversuch, die in Originalgröße gedruckte Pyramide.

Bei dem erneuten Versuch, die Kalibrationspyramide auszudrucken, stellte ich das Retracting in den Slicingereinstellungen aus. Da mein Druckraum allerdings durch die eben beschriebenen Probleme sehr klein ist, entschloss ich mich, kleinere Pyramiden zu drucken. Ich begann mit dem Druck einer Pyramide, die nur 40% der eigentlichen Größe hat. Anschließend druckte ich weitere Pyramiden von 50%, 60% und 70% der Originalgröße, welche alle sehr zufriedenstellend ausfielen.

Schlussendlich wollte ich noch eine weitere Pyramide von 80% der ursprünglichen Größe drucken, deren Druckvorgang ich allerdings abbrechen musste, da die Ausgabe des Druckmaterials am Ansatz der Säulen stockte. Zurückzuführen war dies auf einen Knoten im Filament, der wohl während der Produktion beim Aufrollen entstanden ist. Bei zukünftigen Ausdrucken werde ich die Fördereinheit also immer im Auge behalten müssen, da ich nicht weiß, ob noch weitere Knoten in der Filament-Rolle sind.



Die misslungene Pyramide.



Das fertig gedruckte BenchyBoat hat noch einige Makel.

Als nächstes startete ich einen neuen Druckversuch des BenchyBoats. Dadurch, dass ich das Retracting ausgestellt hatte, entstanden zwar einige Fäden am Modell, welche ich allerdings im Nachhinein entfernen konnte. Einige Ungenauigkeiten und unsaubere Stellen fielen am Bug des Bootes auf, da sich das Druckmaterial hier beim Abkühlen etwas zusammengezogen und nach oben gewölbt hatte. An diesen Stellen konnten die jeweils nächsten Schichten nicht perfekt aufgetragen werden, wodurch einige unschöne Überstände entstanden sind. Das Druckergebnis lässt sich dennoch sehen.

Der erneute Druckversuch meines selbstkreierten Kabelhalters schlug leider wieder fehl, die Grundfläche des Modells war zu groß. Die erste Schicht hielt dieses Mal zwar fest, eine Hälfte wölbte sich jedoch nach kurzer Zeit so stark nach oben, dass die Düse ständig in den bereits gedruckten Kunststoff fuhr, wodurch sie erneut verstopfte. Ich brach den Druckvorgang ab und entfernte das verstopfte Druckmaterial aus dem Druckkopf.

Als Abschluss meiner Travail personnel versuchte ich noch einmal die Katze zu drucken. Die erste Schicht haftete sehr gut. Die Filamentrolle behielt ich im Blick und das Retracting hatte ich ausgestellt, sodass der Druckkopf nicht verstopfen konnte. Die fertige Katze ist für den Anfang ganz gut gelungen. Aber ich denke, es kommt noch einige Tüftelei auf mich zu, um das Ganze zu perfektionieren.



Die fertige Katze zeigt kaum mehr Druckfehler auf.

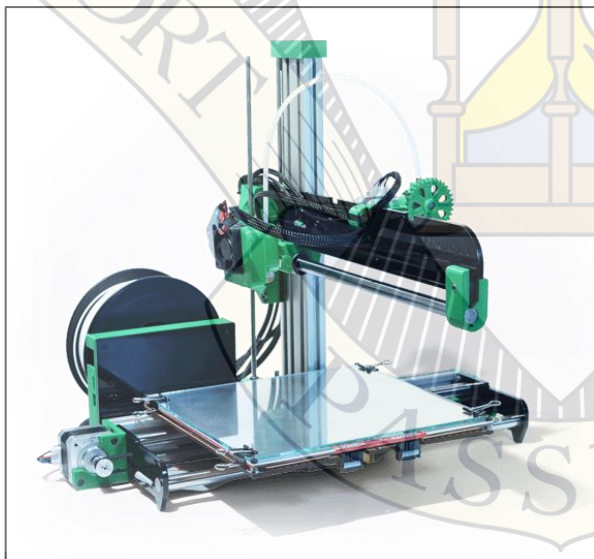


## Kapitel 4: Konklusion

Der Bau meines Druckers ist nun fast abgeschlossen und ich konnte bereits einige Modelle ausdrucken. Nach der Abgabe dieser Arbeit werde ich ihn zum Teil wieder auseinanderbauen, um einige Stellen zu überarbeiten und nachjustieren zu können. So werde ich wohl unter anderem die, durch die schlecht ausgerichteten vertikalen Stangen entstandene, schiefe Bewegung des Druckkopfs abstellen können. Komplett fertig ist ein RepRap-3D-Drucker eigentlich nie, man kann immer nachträglich noch etwas verbessern, vor allem, da die Technologie durch die vielen Ideen im RepRap-Forum schnell fortschreitet.

Im Nachhinein würde ich mir allerdings wahrscheinlich keinen Delta-Drucker mehr kaufen, da ihre Technologie meiner Meinung nach für den „Hausgebrauch“ noch nicht ausgereift genug ist. Da das Deltasystem für Laien relativ schwer verständlich ist, sind Delta-Drucker sehr kompliziert zu kalibrieren. Außerdem kann man nicht sehr gut an den Einstellungen arbeiten und „herumprobieren“, um bessere Druckergebnisse zu erzielen. Klassische 3D-Drucker, die auf einer vertikalen und zwei horizontalen Achsen laufen, sind deutlich einfacher einzustellen und zu verstehen, wodurch auch der Lerneffekt beim Bauen und Drucken erhöht wird.

Trotz des gelungenen Baus meines 3D-Druckers denke ich, dass nicht jedermann einfach einen solchen Drucker zusammenbauen kann. Ich selbst bringe ein recht großes technisches Verständnis und viel Geduld auf und hatte dennoch zahlreiche Schwierigkeiten beim Bau. Zu erwähnen sei auch, dass ich über viele Materialien sowie Werkzeuge zuhause verfüge, sodass fehlende Unterlegscheiben und Kabel oder nachzubohrende Löcher sowie spezielle Schrauberbits für mich kein Problem darstellten. Jemand, der diese Hilfsmittel nicht zur Verfügung hat und kaum technisches Verständnis aufweist, hätte den Bau vermutlich nicht zu Ende gebracht.



Der RepRap Ormerod: das eventuelle Vorbild für meinen nächsten 3D-Drucker.

In Zukunft werde ich auf jeden Fall meinem anfänglichen Plan nachgehen und einen weiteren 3D-Drucker mit Teilen aus zum Beispiel alten Druckern und Scannern bauen. Als Vorbild werde ich mir wahrscheinlich den RepRap-Ormerod 3D-Drucker nehmen. Dieser gefällt mir wegen seinem simplen und dennoch eleganten Aufbau. Außerdem ist er sehr leicht mit Teilen aus alten Scannern nachzubauen, das Druckbett zum Beispiel wird durch das Innenleben eines einzigen Scanners bewegt. Den Bau dieses Druckers werde ich dann im Rahmen meines Engagements in der Enterprise Architecture dokumentieren.

# Quellenangabe

## Textquellen

- <http://www.3dsystems.com/30-years-innovation>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/3D-Druck>
- <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-1-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/>
- <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-2-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/>
- <http://3d-druckercheck.de/3d-druck-verfahren/#sinter>
- [http://builda3dprinter.eu/where\\_to\\_begin/why-a-delta/](http://builda3dprinter.eu/where_to_begin/why-a-delta/)
- <http://www.stratasys.com/de>
- <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/china-haus-mit-3-d-drucker-hergestellt-a-963249.html>
- <http://www.dusarchitects.com/projects.php?categorieid=housing>
- [http://m.esa.int/ger/ESA\\_in\\_your\\_country/Germany/ESA\\_testet\\_3D-Drucker\\_fuer\\_den\\_Bau\\_einer\\_Mondbasis](http://m.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/ESA_testet_3D-Drucker_fuer_den_Bau_einer_Mondbasis)
- <http://www.ferner-alsdorf.de/rechtsanwalt/strafrecht/3d-druck-drucken-von-waffen-mit-einem-3d-drucker-zulaessig/12995/>
- <http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/3-d-drucker-texanische-firme-druckt-metall-waffe-mit-laser-sintering-a-932484.html>
- <http://www.teltarif.de/was-taugen-3d-drucker-im-test/news/53055.html>
- <http://www.digitaltrends.com/cool-tech/wasp-set-to-unveil-worlds-biggest-delta-3d-printer/>
- <http://www.wasproject.it/w/en/bigdelta-the-history/#>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Portabilit%C3%A4t>
- <http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/kurznachrichten/stadtplaner-von-san-francisco-sparen-mit-3d-druck-80-000-us-dollar-2747743.html>
- <http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/kurznachrichten/3d-druck-bentley-exp-10-speed-6-2783343.html>
- <http://www.autobild.de/artikel/bentley-exp-10-speed-6-autosalon-genf-2015-5636782.html>
- <http://www.autobild.de/artikel/bentley-exp-10-speed-6-fahrbericht-5687208.html>
- <http://3druck.com/gastbeitraege/praktische-3d-druck-projekte-aus-dem-alltag-5032353/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/S.\\_Scott\\_Crump](https://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump)
- <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-1-entwicklung-und-geschichte-der-3d-drucktechnologie-342079/>
- <http://www.3ddruckervergleich.net/>
- <http://3druck.com/lieferanten-haendler/fdm-3d-druck-abs-oder-pla-sind-die-unterschiede-2020380/>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Photopolymer>
- <http://www.duden.de/rechtschreibung/sintern>
- <http://www.realtimerendering.com/erich/minecraft/public/mineways/>
- <http://www.geek.com/games/mineways-lets-you-export-minecraft-models-for-3d-printing-1454333/>
- <http://3ddrucker.de/serie/dimension/>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Chuck\\_Hull](https://de.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull)
- Kossel mini instruction by sintron technology\_v2.pdf
- „3D-Druck für alle - Der do-it-yourself-guide“ von Florian Horsch (Hanser-Verlag)
- GEO Ausgabe 01/2015; Artikel „Der Druck aller Dinge“ von Jürgen Bischoff
- „3D-Druck für Dummies“ von Kalani K. Hausman und Richard Horne



## Bildquellen

- [https://de.wikipedia.org/wiki/Stereolithografie#/media/File:CAD\\_CAM.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Stereolithografie#/media/File:CAD_CAM.png)
- <http://g03.a.alicdn.com/kf/HTB1cxGCJFXXXXcZXXXXq6xXFXXXf/Hochwertige-3d-druckmaschine-Delta-drucker-3d-mit-eine-Rolle-filament-klebeband-8gb-sd-karte-kostenlos.jpg>
- <https://grabcad.com/library/3d-printer-29>
- <https://www.nextnature.net/2014/05/the-first-3d-printed-canal-house/>
- <http://www.spiegel.de/fotostrecke/ausgedrucktes-wohnhaus-fotostrecke-113189.html>
- [http://www.digitaltrends.com/cool-tech/wasp-set-to-unveil-worlds-biggest-delta-3d-printer/http://m.esa.int/var/esa/storage/images/esa\\_multimedia/images/2013/01/lunar\\_base\\_made\\_with\\_3d\\_printing/12501016-1-eng-GB/Lunar\\_base\\_made\\_with\\_3D\\_printing\\_highlight\\_mob.jpg](http://www.digitaltrends.com/cool-tech/wasp-set-to-unveil-worlds-biggest-delta-3d-printer/http://m.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2013/01/lunar_base_made_with_3d_printing/12501016-1-eng-GB/Lunar_base_made_with_3D_printing_highlight_mob.jpg)
- <http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/bild-932484-565923.html>
- Screenshot aus dem Video „*Stadt der Zukunft*“ – *San Francisco als 3D-Modell – Making of*“ der Seite „<http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/kurznachrichten/stadtplaner-von-san-francisco-sparen-mit-3d-druck-80-000-us-dollar-2747743.html>“
- <http://www.telegraph.co.uk/inluxury/63090/1425468230953/ts40956jpg/ALTERNATES/h585-var/TS40956.jpg>
- <http://3druck.com/gastbeitraege/praktische-3d-druck-projekte-aus-dem-alltag-5032353/>
- <http://forum.seemecnc.com/viewtopic.php?f=54&t=2479>
- <https://3dprinter.dremel.com/3d-printer-filament>
- <https://i.ytimg.com/vi/yU4ySyRWpel/maxresdefault.jpg>
- <http://www.geek.com/games/mineways-lets-you-export-minecraft-models-for-3d-printing-1454333/>
- <http://proto3000.com/fused-deposition-modeling-solutions-fdm-3D-printing-equipment.php>
- <http://www.dhgate.com/store/product/open-heacent-reprap-prusa-mendel-3dp01-3dp02/180334666.html>
- <https://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2014/hull/bild2.jpg?lenya.module=svg&height=371&width=556>
- <http://mms.businesswire.com/bwapps/mediaserver/ViewMedia?mgid=351730&vid=4>
- [https://reprappro.com/wp-content/uploads/2013/11/ormerod\\_kit\\_big1.png](https://reprappro.com/wp-content/uploads/2013/11/ormerod_kit_big1.png)