



FH MÜNSTER  
University of Applied Sciences

# Wissenschaftliche Arbeit

Nico Bierbaum

Dichte- und Schwindungsauswertung von 316L  
gedruckten Teilen im FDM-Prozess

Betreuer der Arbeit: Prof. Dr.-Ing. Hilmar Apmann  
Steffen Florian M.Sc.

Steinfurt, den 1. November 2023



FB Maschinenbau  
Department of Mechanical Engineering

# Inhaltsverzeichnis

<b>Glossar und Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Motivation . . . . .	2
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	2
1.3 1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>3 Experimenteller Aufbau</b>	<b>4</b>
3.1 Auswahl der Druckparameter . . . . .	4
3.1.1 Verwendung des Prusa i3 MK3S+ . . . . .	6
3.2 Probenherstellung und -messung . . . . .	6
<b>4 Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>8</b>
4.1 Dichte- und Schwindungsauswertungen der gedruckten Proben . . . . .	8
<b>5 Kapitel 5</b>	<b>9</b>
5.1 Ausblick . . . . .	9
<b>A Anhang</b>	<b>11</b>
A.1 Druckparameter . . . . .	11
A.2 Messwerte . . . . .	11
A.3 Anleitungen . . . . .	13

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Testdruck von dem Raise3D Pro2 Plus - Isometrische Ansicht . . . . .	5
3.2	Erster Testdruck mit dem Raise3D Pro2 Plus - Seitenansicht und Draufsicht	5
3.3	Zweiter Testdruck mit dem Raise3D Pro2 Plus - Isometrische Ansicht . .	6
3.4	Erster [20mm/s . . . . .	7
A.1	Anleitung: X-Achse auf die Hälfte der Gesamthöhe fahren . . . . .	14
A.2	Anleitung: Gelb, lila und blau markierten Schrauben entfernen . . . . .	14
A.5	Anleitung: Entfernen des PTFE-Schlauchstücks . . . . .	16

# Tabellenverzeichnis

3.1	Druckparameter - gegeben aus [2]	4
4.1	Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Sinterteil	8
A.1	Parametertabelle Prusa MK3S+ verwendet für Druck der Würfel und liegenden Zugproben	11
A.2	Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Grünteil	12
A.3	Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Braunteil	12
A.4	Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Sinterteil	13

# 1 Einleitung

## **Disclaimer zur Verwendung des generischen Maskulinums**

Für die Lesbarkeit und bessere Verständlichkeit dieses Businessplans haben wir uns dazu entschieden, das generische Maskulinum zu verwenden. Wir möchten darauf hinweisen, dass wir damit keinesfalls eine Diskriminierung oder Geringschätzung von Personen anderer Geschlechter beabsichtigen. Selbstverständlich sind alle im Text verwendeten Bezeichnungen geschlechtsneutral zu verstehen und gelten gleichermaßen für Frauen und Männer.

## 1.1 Hintergrund und Motivation

Additive Fertigung *engl. Additive Manufacturing (AM)* wurde in den 1990ern eingeführt und beschreibt eine bis dahin neuartige Technologie 3D-Objekte in einem Schicht-für-Schicht Verfahren zu fertigen. Im Gegensatz zur additiven Fertigung [AM] steht die subtraktive Fertigung, auch als konventionelle Fertigung bezeichnet. Bei der die gewünschten Bauteile durch Abtrag von Material (z.B. beim Fräsen oder Drehen) hergestellt werden. Durch die additive Fertigung ergibt sich eine hohe Flexibilität und Designfreiheit, dies ist insbesondere für Prototypenherstellung, als auch immer mehr in der Serienproduktion von Bedeutung [1]. Zu Beginn ist diese Technologie hauptsächlich in der Prototypenphase eingesetzt, da sich die Materialauswahl auf Polymere beschränkt. So gab es vor allem viele Kunststoffe zur Auswahl, aber keine Materialien, die einem Stahl gleichkommen. Heute ist AM im weiteren Sinne auch für die Herstellung von funktionellen Teilen eingesetzt. Firmen aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Automobilherstellung, Energie und Medizin sind interessiert an dem Einsatz der AM zur Herstellung verschiedener Bauteile. AM bringt folgende Vorteile mit sich:

- Große Freiheit im Design der Bauteile, was eine individuelle Anpassung an die Produktion ermöglicht. Zudem ist die Erstellung komplexer Bauteile deutlich einfacher als mit konventionellen Methoden.
- Der Konstruktionsprozess und die Prototypenphase sind deutlich schneller. Einzelne Prozessschritte sind schneller.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Wissenschaftlichen Arbeit besteht darin, die Dichteigenschaften und das Schrumpfungsverhalten des 316L (Edelstahl) der Firma *PT+A* zu evaluieren. Genauer werden die Maße und das Gewicht in allen drei Verarbeitungsstufen aufgenommen um daraus die Dichte zu bilden. Dadurch wird deutlich wieviel Material durch entbinden und sintern in Verlust gerät. Im Idealfall ist die Dichte des gesinterten Bauteils ähnlich zu dem von handelsüblichem 316L. Zusätzlich werden Zugproben gedruckt, die Aufschluss über die mechanischen Kennwerte des Materials geben. Diese werden auch mit handelsüblichem 316L verglichen.

## 1.3 1.3 Aufbau der Arbeit

Nach dieser Einleitung werden die technischen Grundlagen aufgearbeitet. . . . .

## **2 Theoretische Grundlagen**

2.1 Additive Fertigung und der FDM-Prozess

2.2 Materialien für den FDM-Prozess

2.3 316L-Edelstahl als Druckmaterial

2.4 Dichte- und Schwindungsbegriffe

## 3 Experimenteller Aufbau

In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, wie die Proben erstellt werden, welche Druckparameter eine große Rolle spielen und wie diese gefunden werden. Ausserdem wird erklärt, welche Messverfahren und welche Messgeräte eingesetzt werden.

### 3.1 Auswahl der Druckparameter

Beim verwenden eines 3D-Druckers ist es notwendig die Druckparameter passend zum gewünschten Ergebnis auszuwählen. Hierbei kommt es auf die gewünschte Geometrie der späteren Bauteile und auf das verwendete Material an. Im Vorfeld dieser Arbeit ist bereits eine Wissenschaftliche Arbeit zum Thema „FDM-Druck mit PT+A 316L Metallfilament Untersuchung der Druckparameter am Raise 3D Pro 2“ erstellt. Das Ergebnis dieser Arbeit lässt sich in Tabelle aus Tabelle 3.1 darstellen.

Tabelle 3.1: Druckparameter - gegeben aus [2]

Slicing-Paramater	Empfehlung	Hinweise (IdeaMaker)
Drucktemperatur	130°C	+/- 5 °C möglich
Druckgeschwindigkeit	30-60 mm/s	Füllung schnell, Konturen langsam
Heizbetttemperatur	40 °C	Gute Ablösung und Schichthftung
Rückzugsgeschwindigkeit	20 mm/s	0,5 mm Rückzugsmenge
Materialflussrate	90%	Bei Extrusionsbreite 0,4 mm
Füllflussrate	90%	Vorsicht: Reiter „Fortgeschritten“ überschreibt Flussrateneinstellungen
Xy-Größenkompensation für Konturen	0,1 mm	
Xy-Größenkompensation für Bohrungen	0,06 mm	
Füllüberlappung	10%	Höher falls Ghosting / Pillowing eintritt
Schichthöhe	0,3 mm	

Essentielle Parameter werden in dieser Arbeit jeweils mit Testdrucken bestimmt. Zur Bestimmung der Drucktemperatur wird ein sogenannter *Heat Tower* gedruckt. Dabei wird in bestimmten Abständen die Temperatur in 5°C-Schritten abgesenkt. Mit dem gedruckten Bauteil lässt sich dann die geeignetste Temperatur ablesen. [2].

Diese Werte werden somit zu Beginn dieser Arbeit übernommen und erste Druckversuche



werden durchgeführt. Dazu wird ein Würfel mit einer Kantenlänge von 10mm gewählt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 dargestellt.

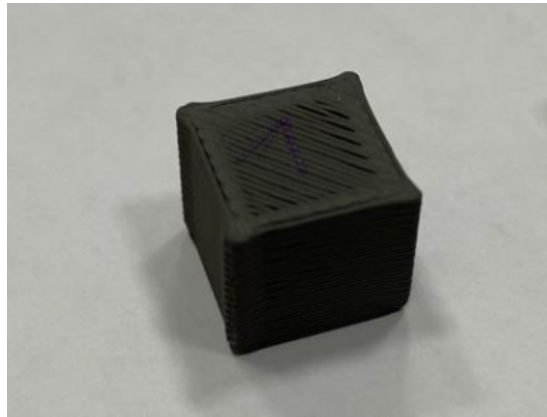


Abbildung 3.1: Testdruck von dem Raise3D Pro2 Plus - Isometrische Ansicht (Eigene Darstellung)

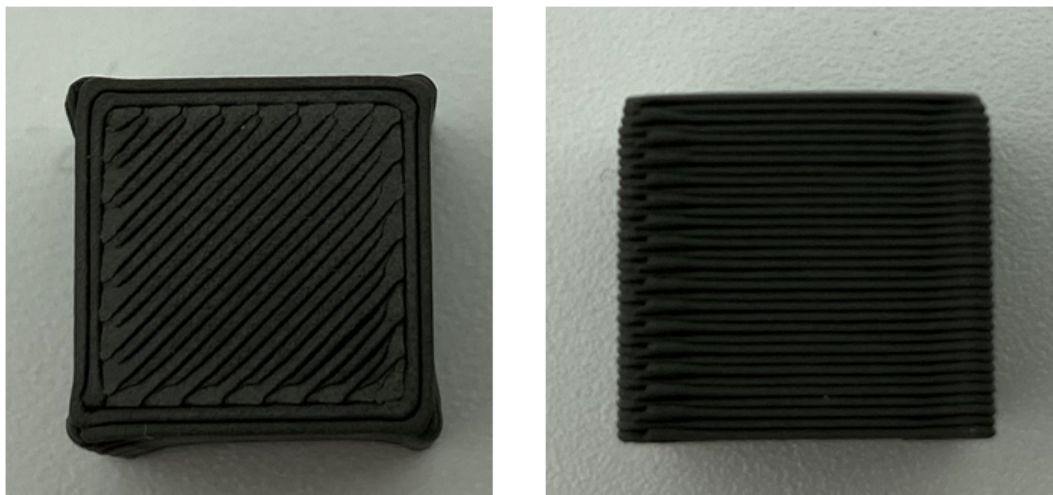


Abbildung 3.2: Erster Testdruck mit dem Raise3D Pro2 Plus - Draufsicht (l) und Seitenansicht (r) (Geschwindigkeit: 60mm/s; Schichthöhe: 0,4mm) (Eigene Darstellung)

Erkennbar ist hier deutlich, die Ungenauigkeit des Drucks dargestellt. Dies lässt sich sehr gut in Abbildung 3.2 an den Ecken in der rechten Draufsicht erkennen. Das Symptom der zu stark abgerundeten Ecken ist auf das Fehlen von *linear advanced* aus ?? zurückzuführen. Die Extrusionsrate ist nicht an das Be- und Entschleunigungsverhalten des Druckkopfs angepasst. Dadurch ist an den Ecken, in denen die Geschwindigkeit langsamer ist, mehr Material aufgetragen. Die Einstellung des *linear advanced* lässt sich bei diesem Drucker nicht einstellen und die *Firmware* ist nicht *Open Source*.

Bei Verringerung der Geschwindigkeit von 60mm/s auf 20mm/s ist dieser Effekt deutlich verringert. In Abbildung 3.3 ist das Ergebnis der Verringerung der Geschwindigkeit und der Schichthöhe dargestellt. Doch diese Optimierung geht zu Lasten der gesamten Druckzeit.

## HIER Die DRUCKZEIT BERECHNEN!!

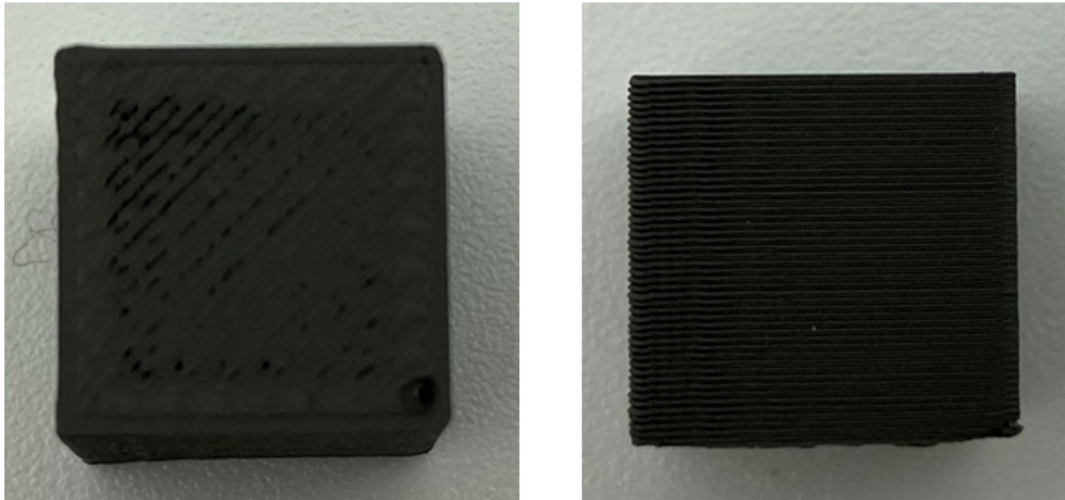


Abbildung 3.3: Zweiter Testdruck mit dem Raise3D Pro2 Plus -Draufsicht (l) und Seitenansicht (r) (Geschwindigkeit: 20mm/s; Schichthöhe: 0,1mm) (Eigene Darstellung)

### 3.1.1 Verwendung des Prusa i3 MK3S+

Mit dem Raise 3D Pro 2 sind die Ergebnisse aufgrund der fehlenden Einstellmöglichkeit des *linear advanced* nicht zufriedenstellend. Da auch die verlängerte Druckzeit bei verringerter Geschwindigkeit nicht zufriedenstellend ist, wird in dieser Arbeit auf den *i3 MK3S+* der Firma *Prusa* zurückgegriffen. Dieser hat ebenfalls wie der *Raise3D*-Drucker einen Druckkopf mit Direktextruder. Dies ist vom Filamenthersteller aufgrund des spröden Materials empfohlen.

Der erste Testdruck mit dem *Prusa* ist in Abbildung 3.4 links dargestellt. Die Einstellungen gleichen den Einstellungen aus [2] (siehe Tabelle 3.1). Die Geschwindigkeit ist jedoch auf 20mm/s reduziert und die Schichthöhe beträgt 0,1mm. Aufgrund des fehlerfreien Ergebnisses wird ebenso ein Würfel mit einer Geschwindigkeit von 50mm/s gedruckt. Dieser ist in Abbildung 3.4 rechts dargestellt. Somit stehen die Parameter für die Würfel und die liegenden Zugproben fest. Sie sind in Tabelle A.1 aufgefasst.

## 3.2 Probenherstellung und -messung

Die Testwürfel sind in dem CAD-System *NXVERSION??* erzeugte Würfel mit einer Kantenlänge von 10mm. Diese sind dann als *STL*-Datei exportiert und mit *Ultimaker Cura Version 5.3.1* gelsicet, also ein *g-code* erzeugt. Wie bereits erwähnt wird für den Druck der *Prusa MK3S+* mit einer **DÜSE??** verwendet. Auf dem originalen Druckbetts des *Prusa* wird eine Schicht aus Flachkreppband der Marke *Günter Seits* **PRüfen!** geklebt. Ohne dieses Flachkreppband haftet die erste Schicht zu gut an dem Druckbett, dadurch ist es unmöglich das Bauteil zerstörungsfrei von dem Druckbett zu lösen.

Die Würfel werden nun als Grünteil mit einem Digitalmessschieber der Marke *Mitutoyo*

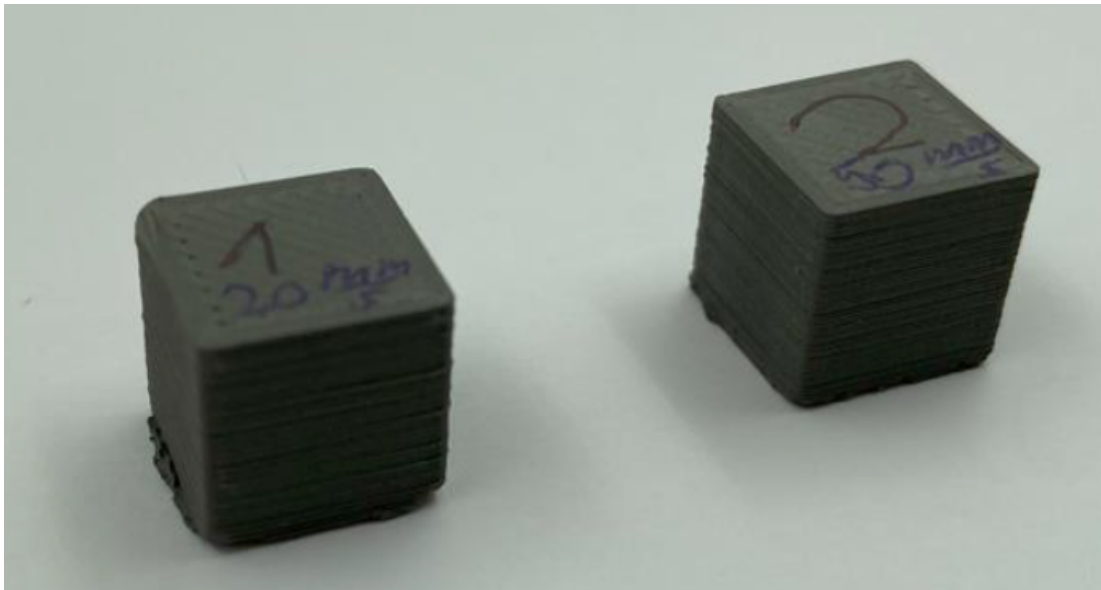


Abbildung 3.4: u  
nd zweiter [50mm/s] Testdruck mit dem Prusa] Erster [20mm/s] und zweiter [50mm/s]  
Testdruck mit dem Prusa (Eigene Darstellung)

gemessen. Die Proben werden einzeln mit einer *Kern PRS 620-3* gewogen. Die Messwerte, samt errechnetem Volumen und Dichte sind in Tabelle A.2 aufgeführt.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Im Fokus dieses Kapitels stehen die Ergebnisse und Diskussionen im Kontext der Evaluierung von Dichteigenschaften und Schrumpfungsverhalten des 316L-Edelstahls von  $PT+A$  für den 3D-Druck mittels Fused Deposition Modeling (FDM). Im vorangegangenen Kapitel wird die Erstellung der Proben und die Wissenschaftlichen Grundlagen erläutert.

### 4.1 Dichte- und Schwindungsauswertungen der gedruckten Proben

In diesem Unterkapitel werden die gedruckten Würfel- und Zugproben hinsichtlich der Dichte untersucht. Diese Messung wird einmal im Grün-, sowie im Braun-, als auch im späteren Sinterteil durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Auswertung ist in Tabelle A.2 bis Tabelle A.4 dargestellt. Aus diesen Werten lassen sich die Schwindungen der einzelnen Parameter nach jedem Prozess ableiten. Verglichen werden in ...

Tabelle 4.1: Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Sinterteil

Teil	h	l1	l2	V	m	Dichte
Braunteil	0	2,9	2,9	5,8	4,8	-0,8
Sinterteil	13,7	15,4	15,8	38,6	8	-50

4.3 Vergleich mit theoretischen Werten oder Referenzproben

4.4 Diskussion der Ergebnisse

# 5 Kapitel 5

- 5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse
- 5.2 Beantwortung der Forschungsfragen
- 5.3 Limitationen der Studie

## 5.1 Ausblick

Zur Verbesserung der Dichte kann der Durchmesser der Druckerdüse variiert werden. In ?? wurde eine 0,6mm Düse verwendet.

- 5.4 Ausblick und zukünftige Arbeiten

# Literatur

- [1] Prof. Dr.-Ing. Christian Seidel. „Additive Fertigung | Additive Manufacturing (AM): Was ist Additive Fertigung?“ (2023). url: [https://www.igcv.fraunhofer.de/de/forschung/kompetenzen/additive\\_fertigung\\_am.html#:~:text=Additive%20Fertigung%20\(engl.%3A%20additive,zu%20v%C3%B6llig%20neuen%20M%C3%B6glichkeiten%20verhilft..](https://www.igcv.fraunhofer.de/de/forschung/kompetenzen/additive_fertigung_am.html#:~:text=Additive%20Fertigung%20(engl.%3A%20additive,zu%20v%C3%B6llig%20neuen%20M%C3%B6glichkeiten%20verhilft..)
- [2] Maximilian Mickan. „FDM-Druck mit PT+A 316L Metallfilament Untersuchung der Druckparameter am Raise 3D Pro 2“. (2023).
- [3] url: [https://help.prusa3d.com/de/guide/wie-man-einen-hotend-ptfe-schlauch-austauscht-mk3s-mk3s-mk2-5s-mm2s\\_21664](https://help.prusa3d.com/de/guide/wie-man-einen-hotend-ptfe-schlauch-austauscht-mk3s-mk3s-mk2-5s-mm2s_21664).

# A Anhang

## A.1 Druckparameter

Tabelle A.1: Parametertabelle Prusa MK3S+  
verwendet für Druck der Würfel und liegenden Zugproben

Parameter	Wert	Beschreibung
Schichthöhe [mm]	0,1	
Drucktemperatur [°C]	130	
Druckgeschwindigkeit [mm/s]	50	Liefert optisch gute Ergebnisse
Heizbetttemperatur [°C]	40	
Rückzugslänge [mm]	0,6	Standardwert Cura
Materialflussrate [%]	100	
Druckoberfläche	Flachkreppband	Gute Ablöseeigenschaften mit Spachtel
Prozentsatz Aussenhaut überlappen [%/mm]	10/0,04	

## A.2 Messwerte

Tabelle A.2: Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Grünteil

Nr.	h [mm]	l1 [mm]	l2[mm]	V [mm3]	V [cm3]	m [g]	Dichte [g/cm3]
1	10,03	10,13	10,2	1036,36	1,0364	4,775	4,607
1	10,01	10,12	10,2	1033,27	1,0333	4,765	4,612
1	10,02	10,15	10,17	1034,32	1,0343	4,76	4,602
1	10,04	10,14	10,19	1037,40	1,0374	4,761	4,589
1	10,03	10,15	10,19	1037,39	1,0374	4,76	4,588
1	10,05	10,15	10,14	1034,36	1,0344	4,768	4,610
1	10,06	10,13	10,19	1038,44	1,0384	4,751	4,575
1	10,03	10,16	10,16	1035,35	1,0354	4,763	4,600
1	10,02	10,17	10,16	1035,34	1,0353	4,762	4,599
Ø	<b>10,03</b>	<b>10,14</b>	<b>10,18</b>	<b>1035,80</b>	<b>1,0358</b>	<b>4,7628</b>	<b>4,5982</b>
2	9,94	10,22	10,2	1036,19	1,0362	4,724	4,559
2	10,01	10,2	10,22	1043,48	1,0435	4,731	4,534
2	9,97	10,18	10,22	1037,27	1,0373	4,754	4,583
2	9,93	10,16	10,18	1027,05	1,0270	4,741	4,616
2	9,97	10,21	10,22	1040,33	1,0403	4,751	4,567
2	9,95	10,21	10,22	1038,24	1,0382	4,737	4,563
2	9,95	10,15	10,23	1033,15	1,0332	4,741	4,589
2	9,94	10,21	10,17	1032,13	1,0321	4,738	4,591
Ø	<b>9,96</b>	<b>10,19</b>	<b>10,21</b>	<b>1035,98</b>	<b>1,0360</b>	<b>4,7396</b>	<b>4,5751</b>

Tabelle A.3: Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Braunteil

Nr.	h [mm]	l1 [mm]	l2[mm]	V [mm3]	V [cm3]	m [g]	Dichte [g/cm3]
1.1	10,05	9,84	9,85	974,09	0,9741	4,526	4,646
1.2	10,03	9,88	9,87	978,08	0,9781	4,537	4,639
1.3	10,03	9,88	9,92	983,04	0,9830	4,523	4,601
Ø	<b>10,04</b>	<b>9,87</b>	<b>9,88</b>	<b>978,40</b>	<b>0,9784</b>	<b>4,5287</b>	<b>4,6287</b>
2.1	9,92	9,95	9,99	986,05	0,9861	4,515	4,579
2.2	9,95	9,84	9,88	967,33	0,9673	4,519	4,672
2.3	10	9,86	9,89	975,15	0,9752	4,497	4,612
Ø	<b>9,96</b>	<b>9,88</b>	<b>9,92</b>	<b>976,18</b>	<b>0,9762</b>	<b>4,5103</b>	<b>4,6207</b>



Tabelle A.4: Abmaße, Volumen, Gewicht und Dichte der Würfel als Sinterteil

Nr.	h [mm]	l1 [mm]	l2[mm]	V [mm3]	V [cm3]	m [g]	Dichte [g/cm3]
1.4	8,62	8,55	8,55	630,14	0,6301	4,387	6,962
1.5	8,65	8,57	8,58	636,04	0,6360	4,375	6,879
1.6	8,69	8,56	8,63	641,95	0,6420	4,384	6,829
1.6	8,62	8,59	8,54	632,35	0,6324	4,387	6,938
Ø	<b>8,65</b>	<b>8,57</b>	<b>8,58</b>	<b>635,12</b>	<b>0,64</b>	<b>4,3833</b>	<b>6,9018</b>
2.4	8,63	8,68	8,52	638,22	0,6382	4,348	6,813
2.5	8,57	8,59	8,59	632,36	0,6324	4,364	6,901
2.6	8,60	8,62	8,66	641,24	0,6412	4,365	6,807
Ø	<b>8,60</b>	<b>8,63</b>	<b>8,59</b>	<b>637,27</b>	<b>0,6373</b>	<b>4,3590</b>	<b>6,8403</b>

### A.3 Anleitungen

#### Anleitung bei verstopftem Hotend/Druckdüse

Sollten Schwierigkeiten bei der Extrusion des Metallfilaments auftreten, wie beispielsweise eine Blockade im Hotend oder der Druckdüse, erfordert dies jedes Mal eine Demontage des Extruders. In der Folge muss die Verstopfung im PTFE-Schlauchstück sorgfältig entfernt werden. Diese Anleitung orientiert sich an [3], jedoch wird auf den Austausch des PTFE-Schlauchstücks verzichtet. Hinweis: Diese Anleitung bezieht sich lediglich auf den verwendeten *Prusa i3 MK3S+*.

Hinweis: Niemals heiße Bauteile mit den Händen berühren!

- Folgende Werkzeuge werden benötigt:
  - Spitzzange
  - 2,5mm Imbussschlüssel
- Das Heizbett wird mit einem dicken Tuch geschützt, sodass eventuelle Verunreinigungen oder herabfallende Maschinenelemente die Oberfläche nicht beschädigen. Die X-Achse wird auf die Hälfte der Gesamthöhe gefahren (siehe Abbildung A.1). Ebenso ist darauf zu achten, dass der Drucker vollständig heruntergekühlt ist und er wird vom Stromnetz genommen.

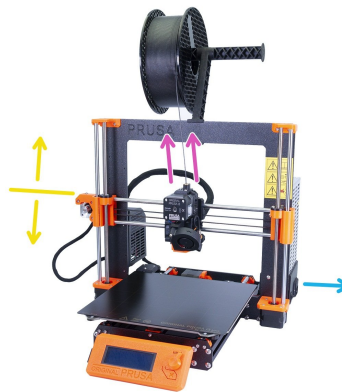


Abbildung A.1: X-Achse auf die Hälfte der Gesamthöhe fahren (Quelle: [3])

- Nun folgt das entfernen der Schrauben. Zunächst werden die in Abbildung A.2 dargestellten Schrauben gelöst und entfernt. Im Anschluss werden die grün markierten Schrauben aus Abbildung A.3a entfernt. Abschließend gilt es die orange markierten Schrauben, die den Extruder halten, aus Abbildung A.3b zu entfernen.

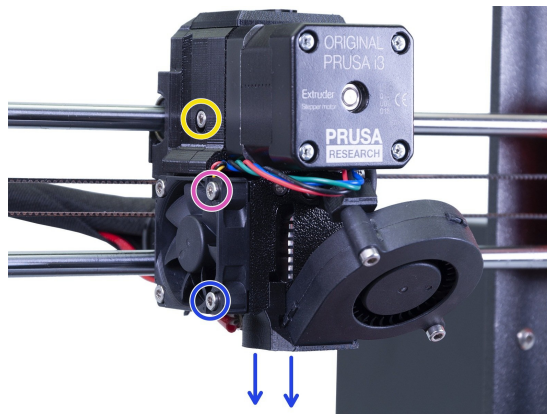
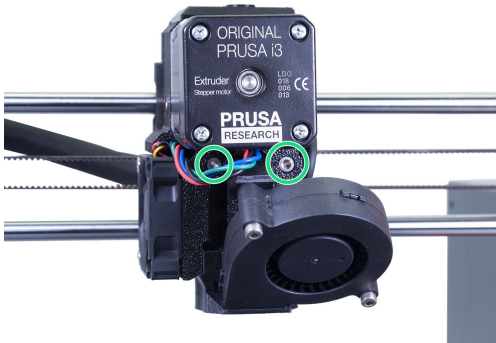
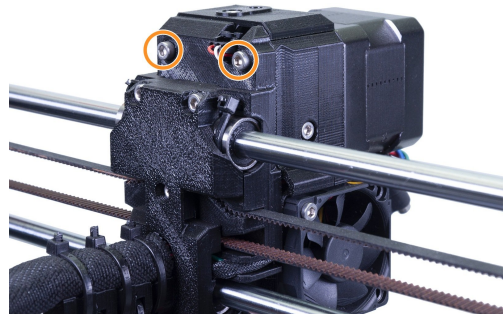


Abbildung A.2: Gelb, lila und blau markierten Schrauben entfernen (Quelle: [3])

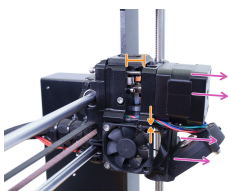


(a) Grün markierte Schrauben entfernen  
(Quelle: [3])

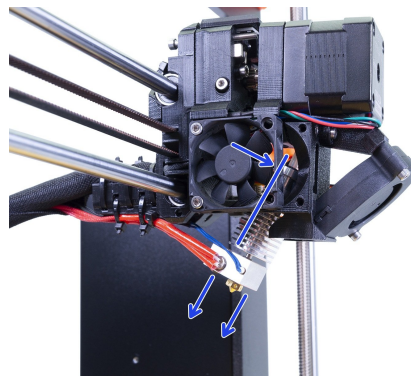


(b) Orange markierte Schrauben entfernen  
(Quelle: [3])

- In diesem Schritt wird der Extruder teildemontiert. Dazu Wird vorsichtig der Extrudermotor in Pfeilrichtung (siehe Abbildung A.4a) gezogen. Sobald dieser lose ist, wird der untere Teil mit herausgezogen. Es muss eine Lücke, wie in Abbildung A.4a in gelb dargestellt, zu sehen sein.  
Nun kann das Hotend vorsichtig von unten entnommen werden (siehe Abbildung A.4b). Dabei auf die Kabel des Hotends achten, sie dürfen nicht beschädigt werden.



(a) Zerlegung des Extruders (Quelle: [3])



(b) Vorsichtige Entnahme des Hotends  
(Quelle: [3])

- Jetzt kann das PTFE-Schlauchstück mithilfe der entfernt werden. Dazu mit den Fingern den, in Abbildung A.5 mit blauem Pfeil markierten, Ring herunterdrücken und den Schlauch mit der beiliegenden Zange herausziehen. Nun kann die Verstopfung in diesem Schlauchstück mit einem langen, dünnen Hilfsmittel (z.B. einem Imbusschlüssel) entfernt werden.



Abbildung A.5: Entfernen des PTFE-Schlauchstücks (Quelle: [3])

- Der Zusammenbau geschieht in umgekehrter Reihenfolge. Wichtig ist, dass der PTFE-Schlauch mit dem angespitztem Ende wieder in den Extruder hineingeführt wird.
- Die in gelb dargestellte Schra
- Wenn alle Teile wieder zusammengebaut und die Schrauben wieder festgezogen sind, kann die Düse auf 180°C aufgeheizt werden. Sobald die Temperatur erreicht ist, wird das Ende der Filamentrolle schräg mit der Zange abgeschnitten. Um das