



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 13. August 2023



FB Maschinenbau
Department of Mechanical Engineering

Inhaltsverzeichnis

Glossar und Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	2
1.2 Zielsetzung der Arbeit	2
1.3 1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 Theoretische Grundlagen	3
3 Experimenteller Aufbau	4
3.1 Auswahl der Druckparameter	4
3.1.1 Verwendung des Prusa i3 MK3S+	6
4 Ergebnisse und Diskussion	8
5 Kapitel 5	9
A Anhang	11

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

Tabellenverzeichnis

3.1	Druckparameter - gegeben aus [2]	4
-----	----------------------------------	---

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 Materialenauswahl 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.

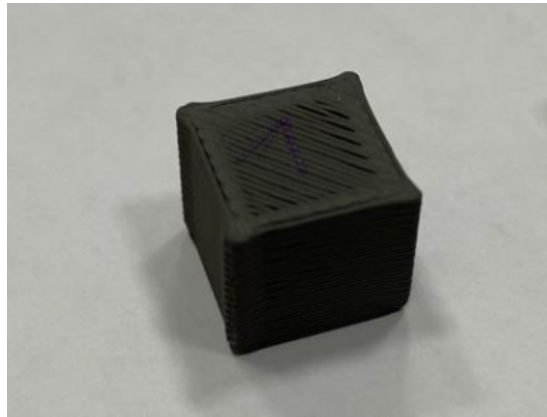


Abbildung 3.1: Testdruck von dem Raise3D Pro2 Plus - Isometrische Ansicht (Eigene Darstellung)

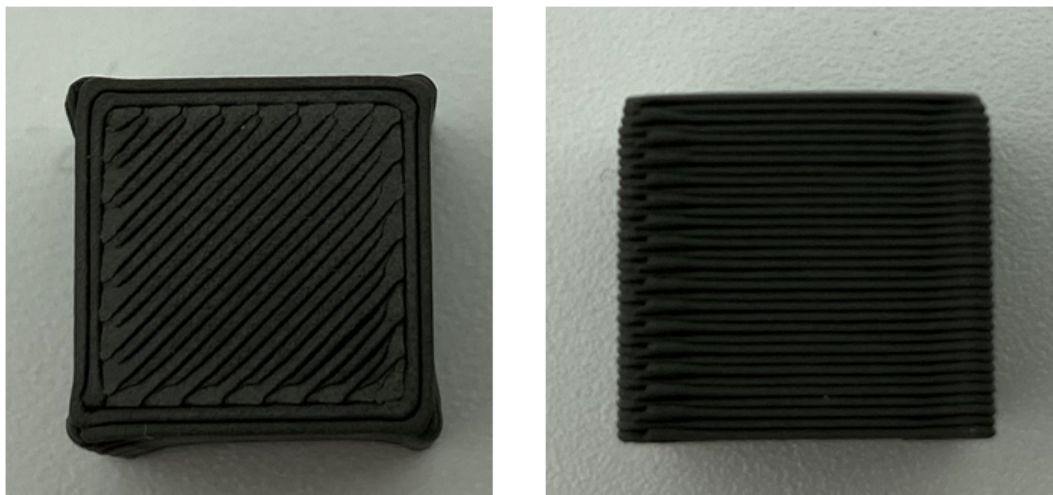


Abbildung 3.2: Erster Testdruck mit dem Raise3D Pro2 Plus - Draufsicht (l) und Seitenansicht (r) (Geschwindigkeit: 60mm/s; Schichthöhe: 0,4mm) (Eigene Darstellung)

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 DieIE DRUCKZEIT BEREHCNEN!!

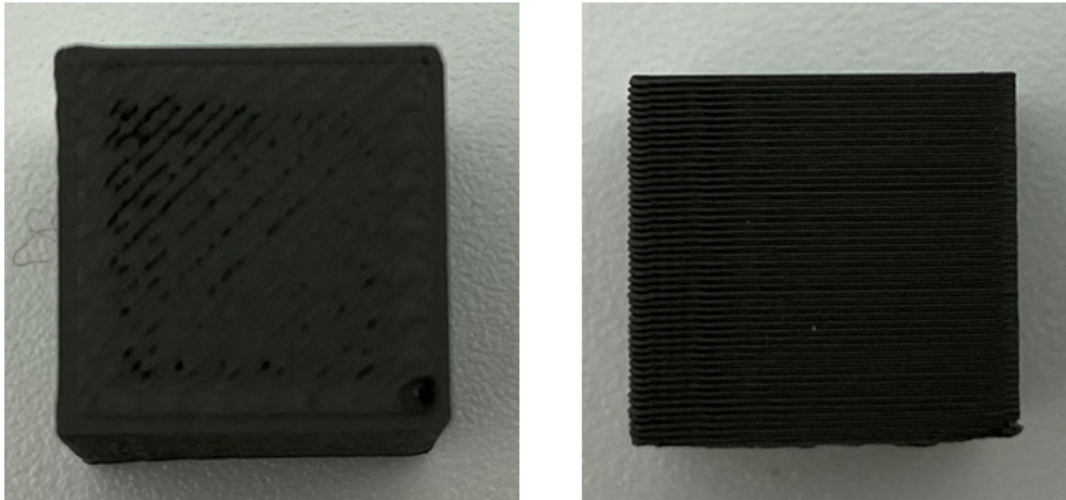


Abbildung 3.3: Zweiter Testdruck mit dem Raise3D Pro2 Plus -Draufsicht (l) und Seitenansicht (r) (Geschwindigkeit: 20mm/s; Schichthöhe: 0,1mm) (Eigene Darstellung)

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* (sieheAbbildung 3.4 links)

3.2 Probenherstellung und -messung

3.3 Messverfahren und -geräte

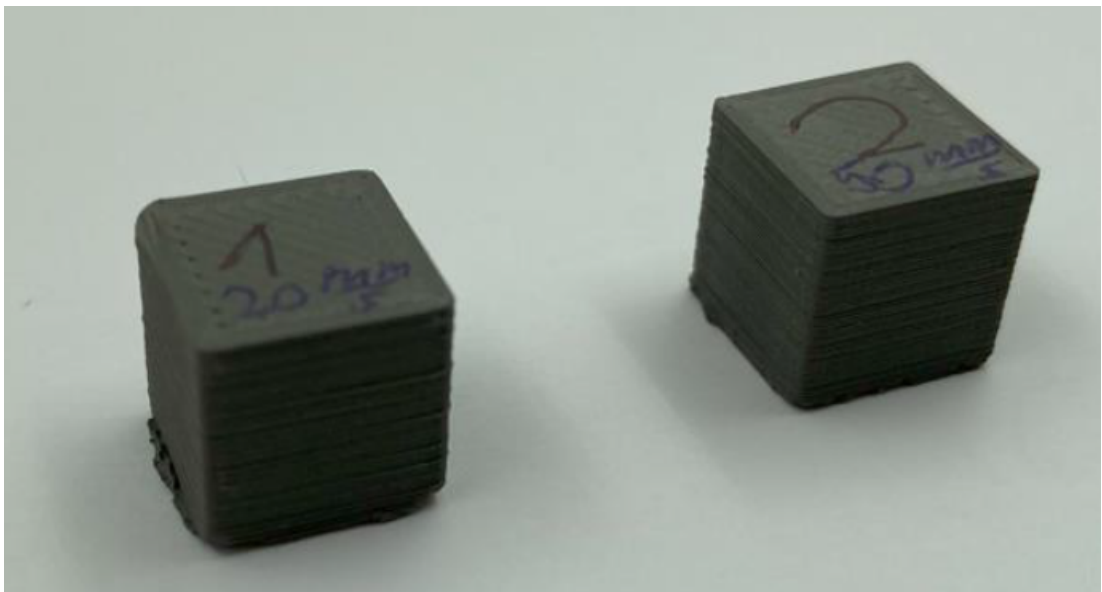


Abbildung 3.4: u
nd zweiter [50mm/s] Testdruck mit dem Prusa] Erster [20mm/s] und zweiter [50mm/s]
Testdruck mit dem Prusa (Eigene Darstellung)

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Dichteausswertung der gedruckten 316L-Proben

4.1.1 Auswertungsmethoden und -ergebnisse

4.1.2 Einfluss der Druckparameter auf die Dichte

4.2 Schwindungsauswertung der gedruckten 316L-Proben

4.2.1 Auswertungsmethoden und -ergebnisse

4.2.2 Einfluss der Druckparameter auf die Schwindung

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
- 5.4 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).

A Anhang