

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>6</b>
2.1 Drucktechniken . . . . .	6
2.1.1 Schmelzschichtverfahren . . . . .	6
2.1.2 Stereolithographie . . . . .	6
2.1.3 Sintern . . . . .	7
2.1.4 Binder-Verfahren . . . . .	7
2.1.5 Schicht-Laminat-Verfahren . . . . .	7
2.2 Materialien . . . . .	8
2.2.1 Metalle und deren Legierungen . . . . .	8
2.2.2 Monomere . . . . .	8
2.2.3 Thermoplaste . . . . .	8
2.3 Stabilitätsanalyse . . . . .	9
2.3.1 Extrusionsverfahren . . . . .	9
2.3.2 Stereolithographie . . . . .	9
2.3.3 Elektronenstrahlschmelzen . . . . .	9
2.3.4 Lasersintering . . . . .	9
2.3.5 Binder-Verfahren . . . . .	9
2.3.6 Schicht-Laminat-Verfahren . . . . .	10
2.4 Computer-Aided Design (CAD) . . . . .	10
2.4.1 Programme . . . . .	10
2.4.2 Dateiformate . . . . .	10
2.4.3 Slicing . . . . .	10
<b>3 Technische Grundlagen</b>	<b>11</b>
<b>4 Entwicklung eines technischen Objekts</b>	<b>12</b>
4.1 Ist-Analyse . . . . .	12
4.2 Konzept: Modulare Boxen . . . . .	12
4.3 Entwurf . . . . .	12
4.4 Druck des Objekts . . . . .	12
4.5 Aufgetretene Fehler . . . . .	12
4.6 Fazit: Eignung für technische Objekte . . . . .	12
<b>5 Entwicklung eines organischen Objekts</b>	<b>13</b>
<b>6 Website</b>	<b>14</b>
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>15</b>

## 8 Literaturverzeichnis

16

# Abkürzungsverzeichnis

**3D** dreidimensional

**ABS** Acrylnitril-Butadien-Styrol

**CAD** Computer-Aided Design

**DHBW** Duale Hochschule Baden-Württemberg

**PLA** Polylactid

**UV** Ultraviolett

**zb** zum BSP

# 1 Einleitung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Drucktechniken

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

#### 2.1.1 Schmelzschichtverfahren

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

#### 2.1.2 Stereolithographie

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

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

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

Alternativ zur Photomaske mit gleichmäßiger Quelle kann auch ein UV- Laser verwendet werden, der über Spiegel an die auszuhärtenden Rasterpunkte gelenkt wird.

Das erzeugte Objekt wird im Druckverfahren nicht vollständig ausgehärtet. Daher

muss es im Anschluss mit UV- Licht nachbehandelt werden. [4, S.3]

### **2.1.3 Sintern**

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

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

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

### **2.1.4 Binder-Verfahren**

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

### **2.1.5 Schicht-Laminat-Verfahren**

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

## 2.2 Materialien

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

### 2.2.1 Metalle und deren Legierungen

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

### 2.2.2 Monomere

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

### 2.2.3 Thermoplaste

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

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



## 2.3 Stabilitätsanalyse

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

### 2.3.1 Extrusionsverfahren

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

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

### 2.3.2 Stereolithographie

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

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

### 2.3.3 Elektronenstrahlschmelzen

### 2.3.4 Lasersintering

Dieses Verfahren kann sowohl Metall als auch Kunststoff verarbeiten. Die dabei produzierten Teile können ähnliche Eigenschaften wie herkömmlich produzierte Teile aufweisen. Allerdings sind gesinterte Teile porös, was bei manchen Anwendungsfällen erwünscht sein kann. Die Porosität kann abgeschwächt werden, indem das Pulver mit anderen Materialien versetzt wird. [5]

### 2.3.5 Binder-Verfahren

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

Sofern als Pulver kein Metall, sondern Gips oder Stärke verwendet werden, hält das Objekt keinen starken Belastungen stand. [4, S.12]

### **2.3.6 Schicht-Laminat-Verfahren**

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

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

## **2.4 Computer-Aided Design (CAD)**

### **2.4.1 Programme**

### **2.4.2 Dateiformate**

### **2.4.3 Slicing**

### 3 Technische Grundlagen

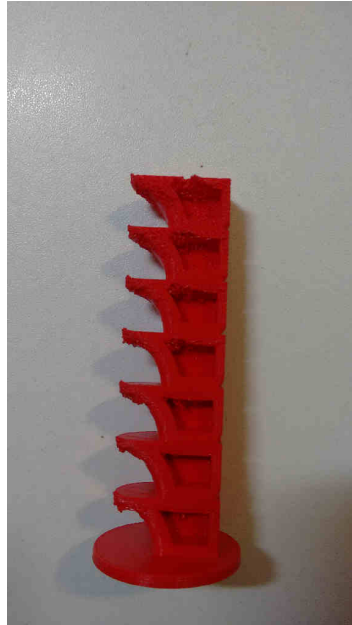
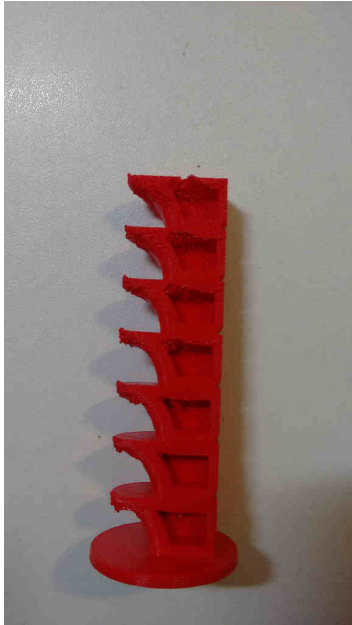
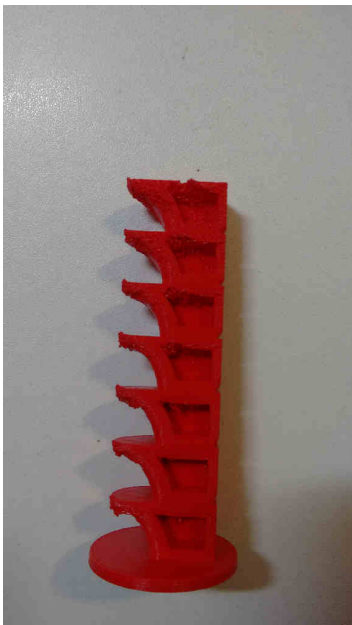


Abbildung 3.1: Temperaturtestdruck

bfuesg  
busp



buepsgb bsueb

Abbildung 3.2: asdf

## **4 Entwicklung eines technischen Objekts**

### **4.1 Ist-Analyse**

### **4.2 Konzept: Modulare Boxen**

### **4.3 Entwurf**

### **4.4 Druck des Objekts**

### **4.5 Aufgetretene Fehler**

### **4.6 Fazit: Eignung für technische Objekte**

# **5 Entwicklung eines organischen Objekts**

## 6 Website

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

## 8 Literaturverzeichnis

### Literaturverzeichnis

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