

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Stand der Technik	6
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
2.4 Computer-Aided Design (CAD)	9
2.4.1 Programme	9
2.4.2 Dateiformate	9
2.4.3 Slicing	9
3 Technische Grundlagen	10
3.1 Der dreidimensional (3D)-Drucker ultimaker 2	11
4 Entwicklung eines technischen Objekts	12
4.1 Ist-Analyse	13
4.2 Konzept: Modulare Boxen	14
4.3 Entwurf	14
4.4 Druck des Objekts	15
4.5 Aufgetretene Fehler	15
4.6 Fazit: Eignung für technische Objekte	15
5 Entwicklung eines organischen Objekts	16
5.1 Konzept	17
5.2 Entwurf	17
5.3 Druck des Objekts	18
5.4 Fazit: Eignung für organische Objekte	18

6 Website	19
7 Zusammenfassung und Ausblick	20
8 Literaturverzeichnis	21

Abkürzungsverzeichnis

3D dreidimensional

ABS Acrylnitril-Butadien-Styrol

CAD Computer-Aided Design

DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

PLA Polylactid

USB Universal Serial Bus

SMD Surface Mounted Device

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 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. [5]

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 soll betrachtet werden, wie stabil die Teile sind, die mit den vorgestellten Technologien hergestellt werden. Insbesondere der Vergleich mit herkömmlich produzierten Teilen soll dabei betrachtet werden.

2.3.1 Extrusionsverfahren

2.3.2 Stereolithographie

2.3.3 Elektronenstrahlschmelzen

2.3.4 Lasersintering

Dieses Verfahren kann sowohl Metall als auch Kunststoff verarbeiten. Die dabei produzierten Teile reichen qualitativ an herkömmlich produzierte Teile heran. Allerdings bleibt der Nachteil, dass die gesinterten Teile porös sind.

2.4 Computer-Aided Design (CAD)

2.4.1 Programme

2.4.2 Dateiformate

2.4.3 Slicing

3 Technische Grundlagen

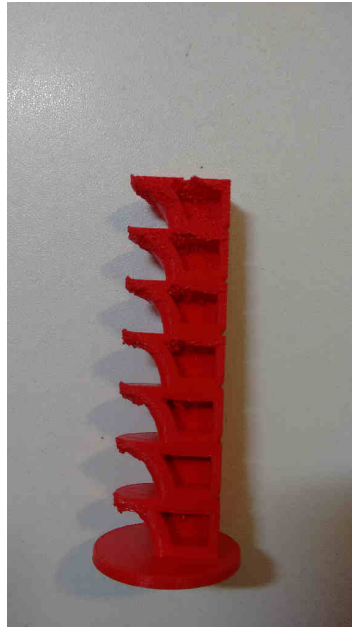
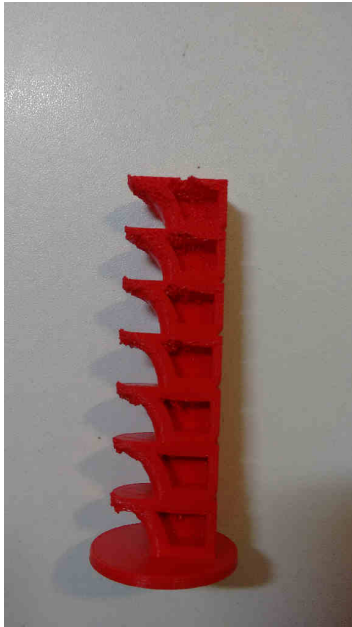
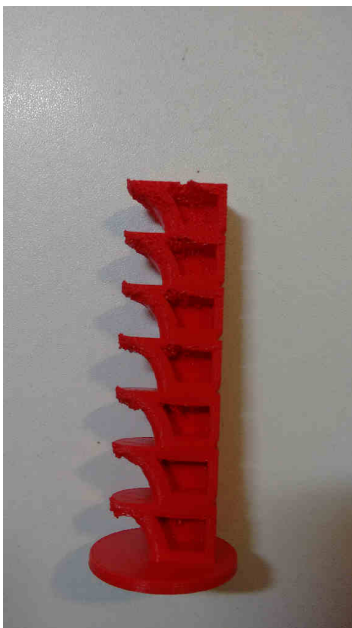


Abbildung 3.1: Temperaturtestdruck

bfuesg
busp



buepsgb bsueb

Abbildung 3.2: asdf

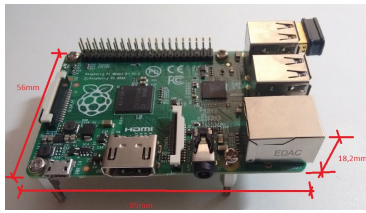
3.1 Der 3D-Drucker ultimaker 2

4 Entwicklung eines technischen Objekts

Dieses Kapitel handelt vom Entwerfen und Drucken eines technischen Objekts. Als Objekt wird hier exemplarisch ein Aufbewahrungssystem für einen Raspberry Pi gekoppelt mit einem Universal Serial Bus (USB)- Hub und einer externen Festplatte entworfen. Dieses System soll möglichst kompakt sein und als ein Block transportierbar sein.

Diese Arbeit bezieht sich häufig auf den ultimaker 2, der im vorhergehenden Kapitel 3.1 vorgestellt wird. In der Arbeit mit einem anderen Drucker können sich Vorgehensweise und Ergebnis deutlich unterscheiden.

Zuerst wird die Analyse der bestehenden Verwahrung beschrieben. Anschließend folgt eine Beschreibung des umzusetzenden Konzepts. Folgend wird ein Entwurf des Systems mit einem CAD-Programm und der Druck des Objekts beschrieben. Der darauffolgende Abschnitt beschäftigt sich mit während dem Druck aufgetretenen Fehlern. Zuletzt folgt ein Fazit über die Eignung des ultimaker 2 zum Drucken von technischen Objekten.



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

Abbildung 4.2: text

4.1 Ist-Analyse

Zu entwerfen ist eine Verwahrung für einen Heimserver auf einem Raspberry Pi (folgend als Pi bezeichnet) mit angeschlossener externer Festplatte. Der Pi selbst liefert an seinen USB-Ports nicht genug Leistung zum Betreiben der Festplatte, weshalb ein zusätzlicher powered USB-Hub nötig ist.



Abbildung 4.1: Ursprüngliches Stapelsystem

Nächste Anforderung ist die Portabilität des Systems. Um den Server sicher und einfach bewegen zu können, soll das System als ganzes stabil zu einer Einheit verbindbar sein. Das bisherige System sollte die Portabilität ermöglichen, war jedoch aufgrund der oben genannten Instabilität nicht dazu in der Lage.

Die Ausmaße der zu verstauenden Objekte ist folgend aufgeführt.

Zusätzlich zu diesen Maßen sind bei Pi noch die Positionen der Schraub-Bohrungen und die Höhe der unter dem Pi herausragenden Lötunkte und Surface Mounted Device

Zu Beginn der Entwicklung wurde das System durch zu einem Käfig verschraubten Lochblechen zusammengehalten, die Festplatte und Hub umfassten. Abbildung 4.1 Insbesondere der Pi war im alten System nur unzureichend fixiert, da er nur auf den Käfig aufgesetzt war. Ein Hauptmerkmal des neuen Systems soll das sichere Lagern aller Komponenten sein.

(SMD)-Bauteile. Die frei zugänglichen Leiterbahnen müssen in der Verwahrung Abstand zu anderen Bauteilen haben, da sie sonst beschädigt werden könnten.

Für das neue Verwahrungs-System soll eine Eigenschaft der alten übernommen werden. Die Platzierung der Komponenten übereinander ist sehr platzsparend und kann gut transportiert werden.

4.2 Konzept: Modulare Boxen

Als Ersatz für den oben beschriebenen Rahmen soll ein modulares Stapelsystem dienen. Die Grundfläche wird durch die größte zu befestigende Komponente, hier also die Festplatte, bestimmt. Auf einer massiven Grundplatte werden Boxen gestapelt, deren Innenraum an die jeweilige Komponente angepasst ist. Zwischen die Boxen werden Rahmen gelegt, die die Box zwischen Gewindestangen fixiert. Diese sind in der Grundplatte festgeschraubt. Dadurch ist das Stapelsystem im Ganzen stabilisiert und kann problemlos transportiert werden.

4.3 Entwurf

Das Konzept soll für die vorhandenen Komponenten umgesetzt werden. Die zu druckenden Objekte werden mit Solid Edge entworfen.

Als erster Schritt wurden die Maße von Festplatte, USB-Hub und Raspberry Pi genommen. Die Maße definieren die Innengestaltung der jeweiligen Box. Die Grundfläche ist durch die größte Box definiert, während die Höhe der einzelnen Boxen pro Komponente festlegbar ist. Folgend werden die Designs der einzelnen Komponenten vorgestellt.

Die Festplatten-Box als einfachste Komponente des Systems definiert einen Quader in Größe der Festplatte. An der Position der Schnittstelle ist ein Ausschnitt in Größe der Steckverbindung aus der Wand geschnitten. Da die Box einem großen Gewicht standhalten muss, wurde eine Wandstärke von 3mm gewählt.

Der USB-Hub auf der Grundfläche der Festplatte muss in Breite und Tiefe fixiert

werden. Hierfür wurden seitlich und hinter den Hub Blöcke gesetzt, die den Hub an der gewünschten Position fixieren. Die Wand der Box ist wie bei der Festplattenbox auf Höhe der Schnittstellen eingeschnitten. Zusätzlich hat die Box einen Ausschnitt auf der Rückseite der Box, durch die Stromzufuhr und Anschlusskabel für den Raspberry Pi hinausgeführt werden können.

Eine Box für den Raspberry Pi fordert einen größeren Design-Aufwand als die vorhergehenden. Auf der Unterseite benötigt der Pi Abstand zum Boden aufgrund seiner Lötunkte und SMD-Bauteile. Daher wird er auf Säulen gesetzt, die den Pi in seinen Schraub-Bohrungen fixieren. Die zusätzliche Höhe, die hierbei entsteht, muss bei den Ausschnitten der Schnittstellen miteinbezogen werden. Damit alle Schnittstellen erreichbar sind, ist der Pi in die Ecke der Box platziert.

Um die Boxen gegen Verrutschen zu sichern, sind zwischen ihnen Rahmen platziert, die Einschnitte in Größe der Box-Grundfläche haben. Zusätzlich haben die Rahmen Schraubendurchlässe, mit denen sie auf einer Gewindestange eingefädelt werden können. Das vollständige System kann dann durch 4 M4-Muttern fixiert werden. Die Rahmen sind in der Fläche nicht gefüllt; die Stabilität ist schon durch die eingeschossenen Boxen gegeben.

Die Bodenplatte bietet ein Grundgerüst des Systems. Sie ist um die Schraubendurchführungen der Rahmen breiter als die Boxen. An selber Position wie diese Durchgänge hat auch die Bodenplatte Einschnitte. Zusätzlich sind auf der Unterseite Einschnitte für M4-Muttern. Dadurch können die Gewindestangen in der Bodenplatte festgeschraubt werden.

4.4 Druck des Objekts

4.5 Aufgetretene Fehler

4.6 Fazit: Eignung für technische Objekte

5 Entwicklung eines organischen Objekts

Das Ziel dieser Studienarbeit ist es, zwei unterschiedliche Objekte zu designen und zu drucken. Im vorherigen Kapitel ?? wird die Entwicklung eines technischen Objekts beschrieben. Bei einem technischen Objekt sind die Ansprüche an genaue Bemaßungen hoch, das Objekt selbst sollte so einfach wie möglich gestaltet sein. Dadurch besteht es oft aus einfachen geometrischen Formen. Allgemein liegt der Fokus auf der Funktionalität des Objekts. Um technische Objekte zu designen, wird in der Regel eine CAD-Software verwendet.

In diesem Kapitel wird eine andere Art eines Objekts beschrieben: Das organische Objekt. Im Gegensatz zu einem technischen Objekt steht hier nicht die reine Funktionalität im Vordergrund. Organische Objekte sind Objekte, die in der Natur vorkommen und nicht künstlich vom Menschen gefertigt wurden, beispielsweise Lebewesen oder Pflanzen. In der Regel besitzen diese Objekte kaum Ecken, Kanten oder gerade Flächen.

Im Folgenden werden das Design und der Druck eines solchen Objekts beschrieben, im Anschluss folgt ein Fazit über die generelle Eignung des Ultimaker 2 für den Druck organischer Objekte. Wie bereits im vorigen Kapitel bezieht sich diese Arbeit häufig auf den Ultimaker 2, der im Kapitel 3.1 vorgestellt wird. In der Arbeit mit einem anderen Drucker können sich Vorgehensweise und Ergebnis deutlich unterscheiden.

5.1 Konzept

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, soll das organische Objekt runde, gewölbte Flächen aufweisen. Für diese Studienarbeit wurde ein dreidimensionales Strichmännchen als Objekt gewählt. Dieses kann unter Verwendung mehrerer Zylinder und Kugeln modelliert werden und enthält somit einige gewölbte Flächen. Der Kopf des Strichmännchens wird als Kugel modelliert, der restliche Körper besteht aus sieben Zylindern. Einer davon dient als Körper und je ein Zylinder wird verwendet, um ein Bein zu modellieren. Die Arme werden mit je zwei Zylinder modelliert. Dadurch kann ein Ellbogengelenk simuliert werden und abwechslungsreiche Armhaltungen werden möglich.

5.2 Entwurf

Das im vorigen Abschnitt beschriebene dreidimensionale Strichmännchen wurde mithilfe der Software blender modelliert. Zusammengesetzt ist es aus Zylindern für die Arme, Beine und den Rumpf, wie im vorherigen Abschnitt 5.1 beschrieben.

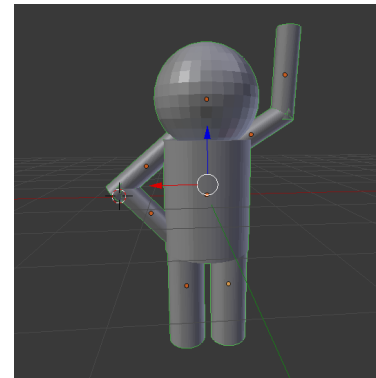


Abbildung 5.1: Design des organischen Objekts

FIGURE NOCH JCIIHT DRIN

5.3 Druck des Objekts

Das Objekt wird in zwei verschiedenen Positionen gedruckt. Einmal wird das Männchen liegend auf der Druckplatte positioniert, einmal stehend. Auffällig ist, dass beim liegenden (?) Männchen die Kugel, die den Kopf darstellt, eine starke Kante in der Mitte aufweist. Beim stehenden Männchen gelingt die Kugel besser.

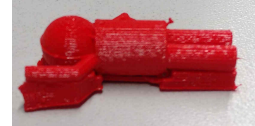


Abbildung 5.2:
Liegender Druck
des organischen
Objekts



Abbildung 5.3:
Druck des stehen-
den organischen
Objekts

5.4 Fazit: Eignung für organische Objekte

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] 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,