



Trainers for Visually Impaired Students Introduce 3D Printing

Tutorial Modul 1

Einführung in den 3D-Druck und mögliche Anwendungen in der Ausbildung von Menschen mit Sehbehinderung

Tutorial für den T4VIS-In3D Trainer-Kurs

Herausgegeben vom
T4VIS-In3D Projektkonsortium

Das Projekt „T4VIS-In3D“ wurde vom „ERASMUS+“-Programm der Europäischen Kommission kofinanziert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung trägt allein der Verfasser. Die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Dieses Tutorial wird vom T4VIS-IN3D Projektkonsortium herausgegeben.

Lizenzierung



“Trainers for Visually Impaired Students Introduce 3D Printing” ist lizenziert unter [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Gedruckt:

April 2021 durch Berufsförderungswerk Düren gGmbH

Das T4VIS-In3D-Projektkonsortium:

Berufsförderungswerk Düren gGmbH (Projekt Koordination)

Karl-Arnold-Str. 132-134, D52349 Düren, Deutschland, <http://www.bfw-dueren.de>

Fundacion ASPAYM Castilla Y Leon

C/ Severo Ochoa 33, Las Piedras 000, 47130, Simancas Valladolid, Spanien, <https://www.aspaymcyl.org/>

Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen Österreichs

Jägerstraße 36 - 1200, Wien, Österreich, <https://www.hilfsgemeinschaft.at/>

Instituttet for Blinde og Svagsynede, IBOS

Rymarksvej 1, 2900, Hellerup, Dänemark, <https://www.ibos.dk>

Istituto Regionale Rittmeyer per i ciechi di Trieste

Viale Miramare 119, 34136 Trieste, Italien, <http://www.istitutorittmeyer.it/>

NRCB

24 Landos Str., Plovdiv, 4006, P. Box 11, Bulgarien, <http://www.rehcenter.org>

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Geschichte des 3D-Drucks	4
1.1 Entwicklung der 3D-Herstellungsverfahren	4
1.2 Unterschiede zwischen klassischen und additiven Fertigungsverfahren	6
2 Geeignete 3D-Drucktechnologie zur Herstellung taktiler Lehrmaterialien	8
2.1 Bisherige Verfahren	8
2.2 Vorteile des 3D-Drucks	9
2.3 Erforderliche Ressourcen	12
2.4 Vor- und Nachteile der Bezugsarten von Konstruktions- Dateien	15
2.4.1 Dateien aus Repositorien	15
2.4.2 Mit CAD-Software selbst erstellte Konstruktionen	15
2.4.3 Re-Design mit 3D-Scannern	15
3 Einführung in die FDM- und SLA-3D-Drucktechnologie	16
3.1 Aufbau und Funktionsweise von FDM-Druckern	16
3.1.1 Filamente	18
3.1.2 Erforderliches Werkzeug	19
3.1.3 Erforderliche Schutzausstattung	19
3.2 Aufbau und Funktionsweise von SLA-Druckern	20
3.2.1 Resin	24
3.2.2 Erforderliches Werkzeug	24
3.2.3 Erforderliche Schutzausstattung	24
3.3 Vergleich von SLA- und FDM-Druckverfahren zur Erstellung taktiler Lehrmaterialien	25
4 Re-Design mit 3D-Scannern	26
4.1 Beispiel für preiswürdige 3D-Scannerlösung	26
4.2 Streifenlichtscanner	27
4.3 Bildbasierte Verfahren	28
5 Glossar	29
6 Abbildungsverzeichnis	37
7 Quellenverzeichnis	38

1 Geschichte des 3D-Drucks

Seit Beginn des Jahrtausends wird der 3D-Druck zunehmend populärer. Diese Technologie findet zunehmend Verbreitung in der Industrie und auch in Wirtschaftsbereichen, die originär nicht mit der Produktion befasst waren.

Die Maschinen werden dabei immer leistungsfähiger, bedienerfreundlicher und kostengünstiger.

Ogleich die mediale Aufmerksamkeit vermuten lässt, dass der 3D-Druck eine Entwicklung der letzten Jahre ist, reichen die Entwicklungen in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts zurück. Der Grund für die zunehmende Bedeutung des 3D-Drucks liegt darin begründet, dass die Patente aus den 80er Jahren zur Jahrtausendwende ausgelaufen sind. Weitere Entwicklungen auf dem Hard- und Softwarebereich konnten somit ohne Lizenzgebühren oder rechtliche Beschränkungen weitergeführt werden.

1.1 Entwicklung der 3D-Herstellungsverfahren

Dr. Hideo Kodama vom Nagoya Municipal Industrial Research Institute in Japan war einer der ersten, der sich mit dem Prinzip der Aushärtung durch den Einsatz eines Laserstrahls auseinandersetzte.

Bereits im Jahr 1980 reichte er ein [Patent \(JPS56144478A\)](#) ein und beschrieb sein System wie folgt: „Ein Bottich mit Photopolymermaterial wird UV-Licht ausgesetzt. Dieses Licht härtet das im Bottich befindliche Material und erzeugt so schichtweise ein Modell.“

Genau nach diesem Prinzip arbeitet auch das **Stereolithpgraphie-Verfahren (SLA)**. Leider konnte er wegen Problemen mit der Finanzierung sein Patent innerhalb der einjährigen Frist nach Einreichung nicht vollständig anmelden, wodurch ihm ein Platz auf dem Treppchen der 3D-Druck-Geschichte verwehrt blieb.



Abbildung 1 Früher SLA Drucker „SLA-1“ (Quelle: [ResearchGate](#))

Charles Hull arbeitete Anfang der 1980er Jahre bei einem kleinen Unternehmen, das mittels UV-Licht Tische mit einer robusten Oberfläche aus Kunststoff ausrüstete sowie Tischdecken, Fußbodenbeläge und ähnliches reparierte. Der Effekt, den UV-Licht auf photosensitive Oberflächen hat, faszinierte Hull.

1984 fand er die optimale Verbindung zwischen UV-Licht und Photopolymeren und meldete mit weiteren Kollegen ein Patent an. [Patent\(US4575330\)](#)

U.S. Patent Mar. 11, 1986 Sheet 3 of 4 4,575,330

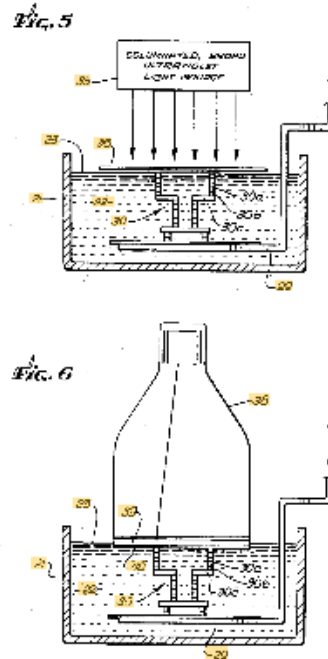


Abbildung 2 Grafik von Charles Hulls Patentanmeldung

1989 erfolgte eine weitere Patentanmeldung für das 3D-Druckverfahren des Lasersinterns durch **Carl Deckard**. Hierbei wird ein Kunststoffpulver mit einem Laser verschmolzen. [Patent \(US4863538\)](#). Dies entspricht den pulverbettbasierten Verfahren, wie dem **Selektiven Lasersintern (SLS)** bzw. dem **Selektiven Laserschmelzen (SLM)**.

1989 meldete Scott Crump das heute sehr verbreitete **Fused Deposit Modelling (FDM)** Verfahren als [Patent \(US5121329\)](#) an. Hierbei wird Kunststoff aufgeschmolzen und anschließend schichtweise aufgetragen. Das FDM-Verfahren hat heute weite Verbreitung gefunden und verfügt über eine hohe Flexibilität in der Verfügbarkeit von Materialien. Mittlerweile gibt es auch FDM-Drucker für die Herstellung von Metallbauteilen.

Aufgrund der Tatsache, dass im 3D-Druck das Bauteil immer in aufeinander folgenden Schichten – also additiv – erfolgt, entstand der Fachbegriff „additive Fertigung“ synonym für den 3D-Druck.

1.2 Unterschiede zwischen klassischen und additiven Fertigungsverfahren

Als klassische Verfahren bezeichnet man abtragende Verfahren und Gießverfahren. Bei abtragenden Verfahren wird mit Werkzeugen aus einem Werkstoffblock das Bauteil erstellt. Hierbei werden Maschinen mit entsprechenden Werkzeugen und gegebenenfalls auch Kühlmitteln benötigt.

Bei den Gießverfahren wird flüssiges Material in eine Form gegossen. Das Material erhärtet meist durch Auskühlen. Die Form muss anschließend entfernt werden und das ausgehärtete Material in den Guss-Kanälen muss ebenfalls entfernt werden.

Die Form des Werkstückes wird nicht ausschließlich durch die Funktion bestimmt. Die Konstrukteure müssen auch berücksichtigen an welche Stellen die Werkzeuge gelangen können. Diese „Maschinengerechte Konstruktionsweise, schränkt die Formfreiheit teilweise ein.

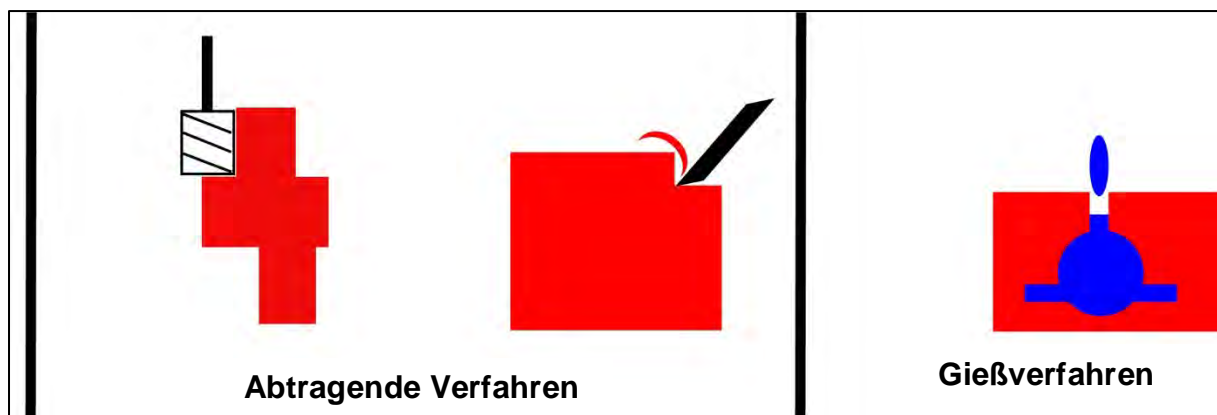


Abbildung 3 Klassische Herstellungsverfahren

Diese Verfahren erfordern einen höheren Werkstoffbedarf als das eigentliche Bauteil benötigt. Die abgetragenen oder gegossenen Reststoffe können zwar recycelt werden, erfordern aber höhere Materialkosten bei der Beschaffung.

Bei den additiven Fertigungsverfahren werden die Bauteile schichtweise erzeugt. Neben dem 3D-Drucker werden für die Fertigung keine weiteren Werkzeuge benötigt. Das Material wird nur in der Form des Bauteils aufgetragen oder verfestigt.

Materialabfall, wie bei den abtragenden Verfahren, entsteht entweder nur in sehr geringem Umfang oder gar nicht.

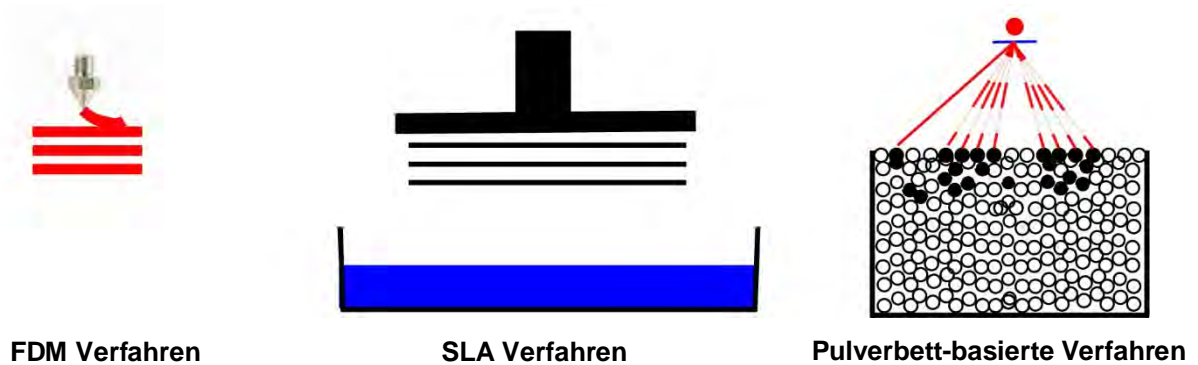


Abbildung 4 Additive Fertigungsverfahren

Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit das Design in einer höheren Formfreiheit herstellen zu können.

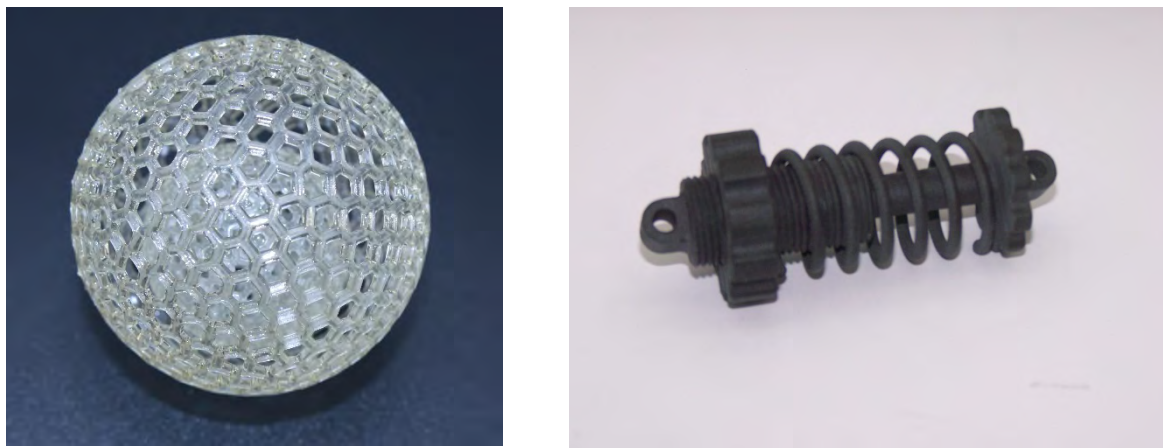


Abbildung 5 Formfreiheit. Beide Modelle wurden in einem Druckvorgang hergestellt.

Dies erspart Rohmaterial und reduziert den Montageaufwand und das Gewicht des Bauteils. Der Vorteil des 3D-Drucks besteht auch in der kostengünstigen Produktion von Prototypen und kleinen Stückzahlen.

Additive Fertigungsverfahren bieten jedoch auch gewisse Nachteile. Diese sind:

1. Vergleichsweise langsames Verfahren
2. Eingeschränkte Baugröße
3. Nachbearbeitung der Bauteile teilweise erforderlich

Auf absehbare Zeit stellt die Additive Fertigung ein zusätzliches Fertigungsverfahren dar, dass die konventionellen Verfahren sinnvoll ergänzt, aber nicht ersetzen wird. Für die Herstellung taktile Lehrmaterialien stellt der 3D-Druck eine deutliche

Verbesserung hinsichtlich der Qualität, Vielfalt und Kosteneffizienz der zu erstellenden Materialien dar.

2 Geeignete 3D-Drucktechnologie zur Herstellung taktiler Lehrmaterialien

2.1 Bisherige Verfahren

Im Gegensatz zu den bisherigen Verfahren zur Herstellung taktiler Lehrmaterialien, bietet der 3D-Druck deutliche Vorteile. Die bisherigen Verfahren sind im Wesentlichen:

1. Die Verwendung von Schwellpapier
2. Thermoformung mit Kunststoffolie (umgangssprachlich auch „Tiefziehen“ genannt“)

Beim Verfahren mit Schwellpapier wird ein Medium aus Trägerpapier und thermoplastischem Kunststoff erhitzt. Die geschwärzten Bereiche auf diesem Medium werden durch Erhitzen mit einem sogenannten „Fuser“ verdickt (oder „geschwellt“). Diese Verdickung ist abhängig von der Schwärzung und normalerweise nicht größer als 1,5 mm. Graustufen können nicht taktil dargestellt werden. Ebenso wenig können komplexere dreidimensionale Darstellungen realisiert werden.

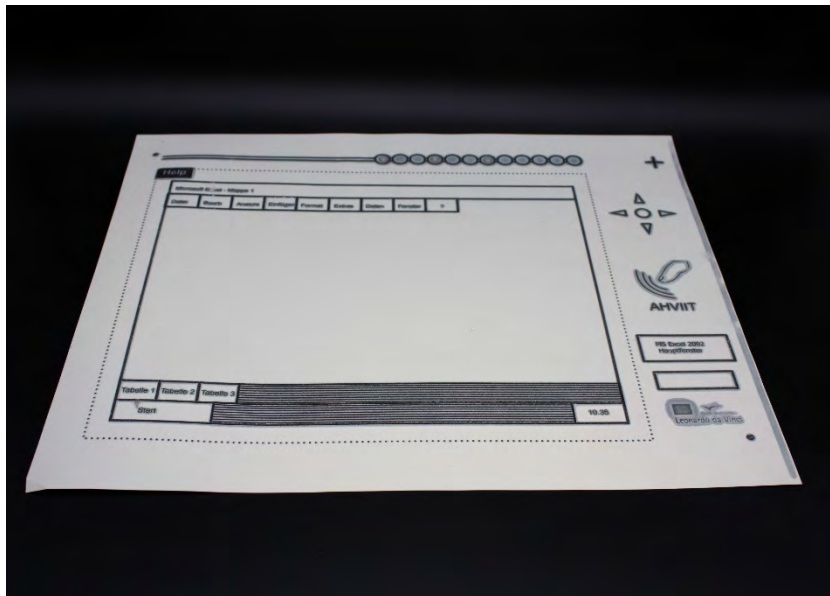


Abbildung 6 Schwellpapierdarstellung einer Computeroberfläche

Das Schwärzen des Materials kann mit jedem Faserstift oder Tintenstrahldrucker erfolgen. Zur Erzeugung von einfachen Grafiken kann jedes einfache

Grafikprogramm verwendet werden. Bei häufiger Verwendung nutzen die Darstellungen schnell ab und müssen ersetzt werden.

Bei dem Thermoform-Verfahren wird eine Kunststoff-Folie über eine dreidimensionale Matrize geführt, erhitzt und durch ein Vakuum auf die Matrize gezogen und geformt. Die Folie stellt somit einen Abdruck der Matrize dar. Dieses Verfahren ermöglicht die Realisierung größerer Erhebungen und einer großen Anzahl von Kopien. Der Detailreichtum ist jedoch abhängig vom Maßstab, da der Verformungsprozess keine filigranen Erhebungen ermöglicht.

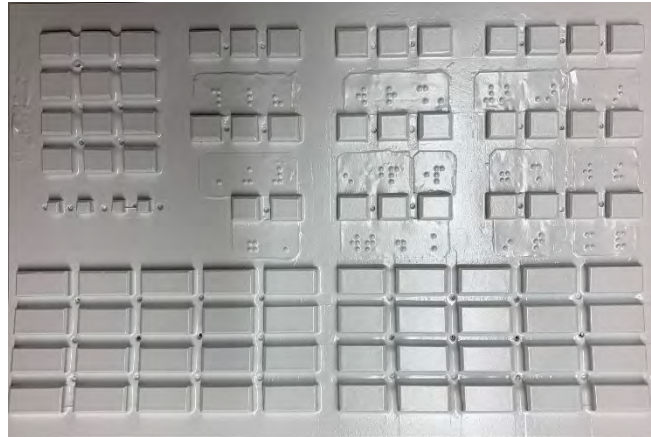


Abbildung 7 Modell einer Tastatur hergestellt mit Thermoverformung

Bislang wurden die Matrizen in aufwändiger Handarbeit erstellt. Änderungen am Modell waren somit sehr zeitintensiv oder erforderten sogar eine komplette Neugestaltung der Matrize.

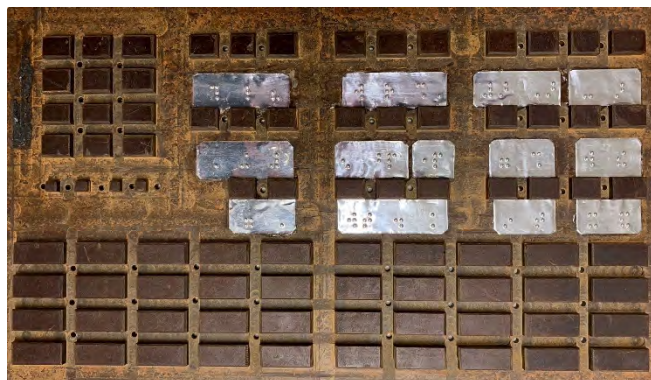


Abbildung 8 Matrize der Tastatur aus voriger Abbildung

Verfügt man über eine Thermoformmaschine und einen 3D-Drucker, ist es möglich, die benötigten Matrizen wesentlich einfacher mit einem CAD-Programm und dem 3D-Drucker herzustellen.

2.2 Vorteile des 3D-Drucks

Gegenüber den zuvor dargestellten Verfahren, bietet der 3D-Druck erhebliche Vorteile zur Herstellung taktiler Lehrunterlagen, die sehr detailliert und verhältnismäßig kostengünstig sind. Zur Herstellung werden im Wesentlichen nur der

3D-Drucker samt Material sowie eine CDA-Software benötigt. Vielfältige Werkzeuge und Materialien zur Herstellung von Matrizen sind nicht erforderlich.

Gegenüber Lehrmaterialien aus Thermoform-Folien oder Schwellpapier, erlauben taktile Modelle aus dem 3D-Drucker deutlich vergrößerte und detaillierte Erhebungen, Körper und Texturen der Oberfläche. Sowohl Erhebungen, Körper als auch Texturen können digital sehr einfach an die Bedarfe angepasst und verändert werden. Zudem ist es möglich aus derselben Datei die Modelle in unterschiedlichen Maßstäben herzustellen.



Abbildung 9 Taktile Lageplan aus dem 3D-Drucker

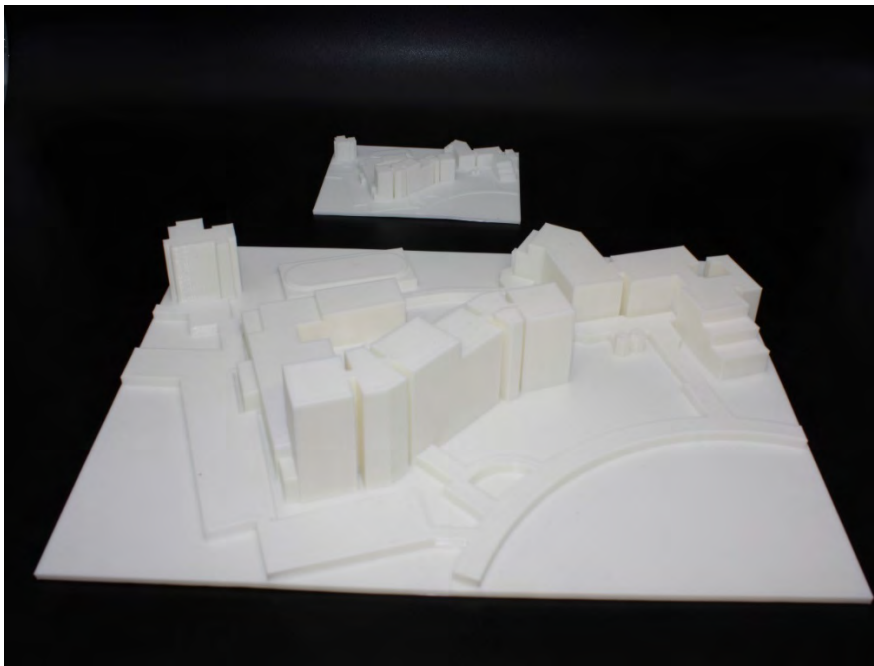


Abbildung 10 3D-Modell aus dem gleichen Grundriss der vorigen Abbildung

Ein weiterer Vorteil beim 3D-Druck ist auch die Möglichkeit, Modelle aus unterschiedlichen Materialien herzustellen. So können flexible und harte Materialien auf einem Modell kombiniert werden, um differenzierte Tasteindrücke zu erhalten. Dies kann bei medizinischen Modellen von Vorteil sein. Es ist ebenfalls möglich die Modelle in unterschiedlichen Kontrastfarben herzustellen. Dies ist bei Menschen mit einer schweren Sehbehinderung von Vorteil, die somit ihren Sehrest noch nutzen können.

Taktile Lagepläne für die Orientierung können ebenfalls sehr einfach und kostengünstig aus digitalen Karten wie [OpenStreetmap](https://www.openstreetmap.org/) oder verfügbaren Apps erstellt werden.



Abbildung 11 Tastmodelle von Zellstrukturen

Hierbei können auch bei kleineren Modellen tastbare Details dargestellt werden, die in anderen Verfahren nicht möglich sind.

Die vergleichsweise einfache Möglichkeit der Erstellung von 3D-Modellen, erlaubt es auch, individuelle Lösungen mit taktilen Elementen zu erstellen. Dies wäre aufgrund der geringen Stückzahl durch kommerzielle Hersteller nicht kostengünstig zu realisieren.



Abbildung 12 Beispiel Türschilder mit Brailleschrift

Im Zusammenhang mit taktilen Lehrmedien für blinde Menschen wurden vielfach individuelle Lösungen zur Schulung der Brailleschrift gesucht. Diese Entwicklungen mussten vielfach aufwändig in Handarbeit aus Materialien wie Holz oder Pappe hergestellt werden. Diese Materialien sind schwer zu bearbeiten und teilweise nicht zu reinigen. Durch den 3D-Druck zeigen sich sowohl in der Konstruktion und der Auswahl der Kunststoffmaterialien kaum Grenzen auf.

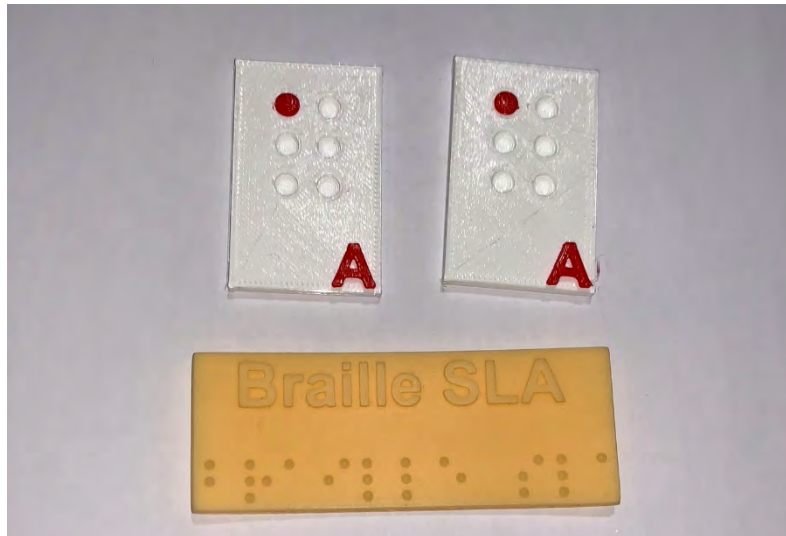


Abbildung 13 Beispiel Braille-Lerntafeln

2.3 Erforderliche Ressourcen

Zur Herstellung von taktilen Lehrmaterialien benötigt man selbstverständlich mindestens einen geeigneten 3D-Drucker. Für die Erzeugung taktiler Lehrmaterialien sind Fused Deposit Modelling (FDM) Drucker sowie Stereolithographie-Drucker (SLA) geeignet. Diese erhält man bereits in einer Preisklasse ab 650 Eurom um Bauteile mit einer nutzbaren Größe und Qualität herzustellen. Grundsätzlich gilt: Je größer der Bauraum, je teurer der Drucker.

Auf die entsprechende Druckertechnologie wird noch im Kapitel Zeingegangen.

Obleich die Drucker-Hardware letztendlich die Modelle produziert, ist die erforderliche Software mindestens ebenso wichtig.

Ausgangspunkt für einen 3D-Druck ist eine Datei die der STL-Schnittstelle entspricht. STL steht für **ST**ereo**L**ithographie oder **ST**andard **T**riangulation/**T**esselation **L**anguage. Das STL-Format beschreibt die Oberfläche von 3D-Körpern mithilfe von Dreiecksfacetten und ist somit mathematisch aufgebaut.

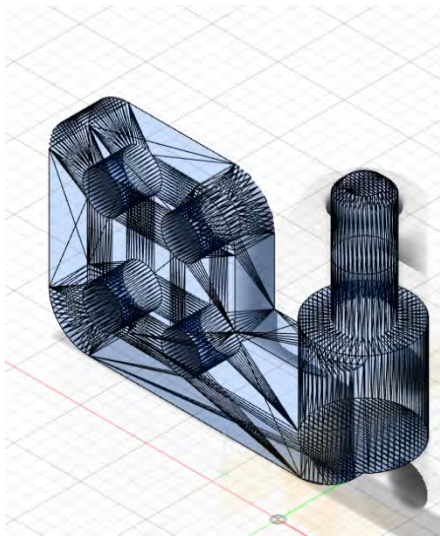


Abbildung 14 Facettendarstellung einer STL-Datei

Eine derartige STL-Datei kann man auf verschiedene Weise erhalten:

1. Man erhält die Datei aus einer verfügbaren Datenbank, auch Repositorium genannt. Bekannte Repositorien sind z.B. [Thingiverse](#), [MyMiniFactory](#), [Cults](#), etc.
2. Man konstruiert das Modell mit einer CAD-Software und exportiert die Konstruktion als STL-Datei
3. Man erfasst einen Körper mittels 3D-Scanner.

Aus dieser STL-Datei wird wiederum eine vom 3D-Drucker lesbare Datei generiert. Diese Datei enthält gerätespezifische Parameter, die es erlauben, das Modell schichtweise aufzubauen. Dies wird mit Programmen durchgeführt, die in der Regel mit den Geräten mitgeliefert werden und mit dem Begriff „Slicer“ beschrieben werden (engl.: slice = Scheibe). Bekannte Produkte sind z.B.: Cura, Simplify3D oder Repetier Host.

Bei der besonderen Aufgabe der Herstellung taktiler Lehrmaterialien wird es sich nicht vermeiden lassen, viele Modelle selbst zu konstruieren. Dies erfolgt mit einer geeigneten CAD-Software.

Eine bekannte Open-Source-Anwendung ist [FreeCad](#). Diese Software ist sehr umfangreich und leistungsfähig. Allerdings ist sie nicht auf die additive Fertigung fokussiert.

Eine einfache Lösung bietet die browser-basierte Anwendung [Thinkercad](#) von Autodesk. Für aufwändigere Konstruktionen ist diese jedoch nicht geeignet.

Für unser Projekt verwenden wir die Software Autodesk Fusion360. Diese Software bietet spezielle Features für die additive Fertigung und ist für Bildungseinrichtungen und Teilnehmer mit einer kostenlosen Lizenz verfügbar.

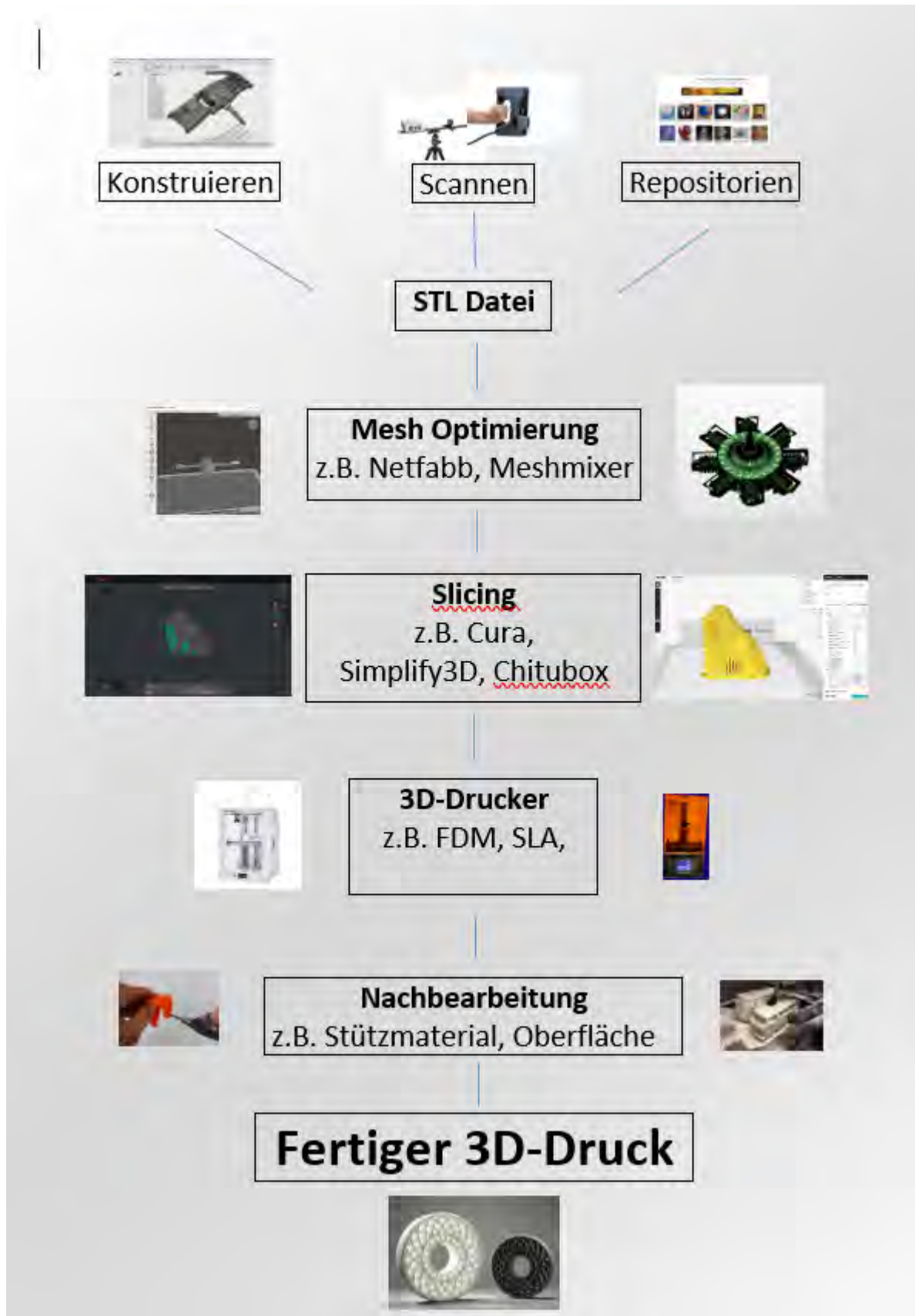


Abbildung 15 Der Weg zum 3D-Druck

2.4 Vor- und Nachteile der Bezugsarten von Konstruktions- Dateien

2.4.1 Dateien aus Repositorien

Der einfachste Weg ist selbstverständlich fertige und geeignete Konstruktionsdateien aus Repositorien zu erhalten. Diese müssen nur noch für den Drucker umgewandelt und anschließend ausgedruckt werden.

Tatsächlich gibt es bereits vielfach Dateien für die Zielgruppe und diese erfüllen unter Umständen auch die Ansprüche. Problematisch ist es jedoch fast immer, wenn Brailleschrift Bestandteil der Konstruktion ist. Da viele dieser auf Repositorien gespeicherten Dateien aus dem englischen Sprachraum stammen, sind sie nicht uneingeschränkt nutzbar.

Zudem können die fertigen Konstruktionsdateien, die zumeist als STL-Datei gespeichert werden, nur eingeschränkt bearbeitet werden.

2.4.2 Mit CAD-Software selbst erstellte Konstruktionen

Die Konstruktion eigener Modelle ist sicherlich die zeitaufwändigste Lösung, da nicht nur die Zeit für die Konstruktion, sondern auch diverse Versuche des optimalen Drucks berücksichtigt werden müssen. Eigenkonstruktionen erfordern ein gewisses Maß an Anwenderkenntnissen. Allerdings bietet erfahrungsgemäß nur diese Lösung individuelle und optimale Lösungen.

2.4.3 Re-Design mit 3D-Scannern

Eine weitere Möglichkeit verwertbare STL-Dateien zu erhalten, bietet der Einsatz von 3D-Scannern. Voraussetzung ist jedoch das Vorhandensein einer geeigneten dreidimensionalen Vorlage und ein 3D-Scanner bzw. eine Digitalkamera und eine geeignete Fotogrammetrie-Software. Mittlerweile sind auch geeignete Apps für Smartphone und Tablets verfügbar.

Allerdings ist es trügerisch zu glauben, dass ein 3D-Scan ohne Nachbearbeitung direkt nutzbar ist. In fast allen Fällen müssen Fehler in dem gescannten Modell mit Korrekturprogrammen, wie z.B.: Autodesk Meshmixer, korrigiert werden.

Zudem muss auch berücksichtigt werden, dass selbst einfache 3D-Scanner oder geeignete Smartphones und Tablets den Preis eines 3D-Druckers übersteigen können.

3 Einführung in die FDM- und SLA-3D-Drucktechnologie

Für die Herstellung taktiler Lehrunterlagen sind 3D-Drucker geeignet, die nach dem Fused Deposit Modelling (FDM), dem Stereolithographie (SLA) Prinzip, bzw. dem Digital Light Processing (DLP) arbeiten. Leistungsfähige Geräte, die für diese Aufgabe gute Ergebnisse erzielen, sind bereits unter 1000 € erhältlich.

Aufgrund der kurzen Innovationszyklen wird hier nicht auf spezielle Hersteller und Modelltypen eingegangen. In diesem Kapitel werden im Wesentlichen die einheitlichen Baugruppen, Bedienelemente und Materialien beschrieben. Ebenso werden die grundsätzlichen und modellunabhängigen Bedienschritte erläutert.

Die genaue Bedienung der einzelnen 3D-Drucker muss den beiliegenden Bedienungsanleitungen und den dazugehörigen Sicherheitshinweisen entnommen werden.

3.1 Aufbau und Funktionsweise von FDM-Druckern

Das FDM-Verfahren funktioniert einfach erklärt wie eine Heißklebepistole, mit der mehrere Schichten Klebestränge aufeinander gefügt werden.

Beim FDM-Verfahren werden Stränge aus Kunststoff mit einem Durchmesser von 2,85 oder 1,75 mm verwendet. Der Oberbegriff für diese Kunststoffe ist „Filament“ und ist unabhängig vom verwendeten Kunststoff oder Durchmesser.

Das Filament wird mit einem Schrittmotor (Engl.: „stepper“) in eine Baugruppe namens „Extruder“ geführt. Extruder sind unterschiedlich aufgebaut. Alle besitzen jedoch einen Heizstab, in dem das Filament auf Temperatur gebracht wird. Die korrekte Temperatur wird mit einem Thermofühler geregelt. Das Filament wird durch den fortlaufenden Transport durch einen Motor durch die Düse gedrückt. Diese hat einen Durchmesser zw. 0,2 und 0,8 mm. In der Regel werden Düsen von 0,4 mm Durchmesser verwendet. Die Fadendicke ist jedoch deutlich geringer und kann bis zu 0,05 mm betragen. Der Extruder ist beweglich und trägt das geschmolzene Filament schichtweise auf die Bauplatte. Dieses Prinzip führte zu dem etwas sperrigen deutschen Begriff „Schmelzschichtverfahren“.

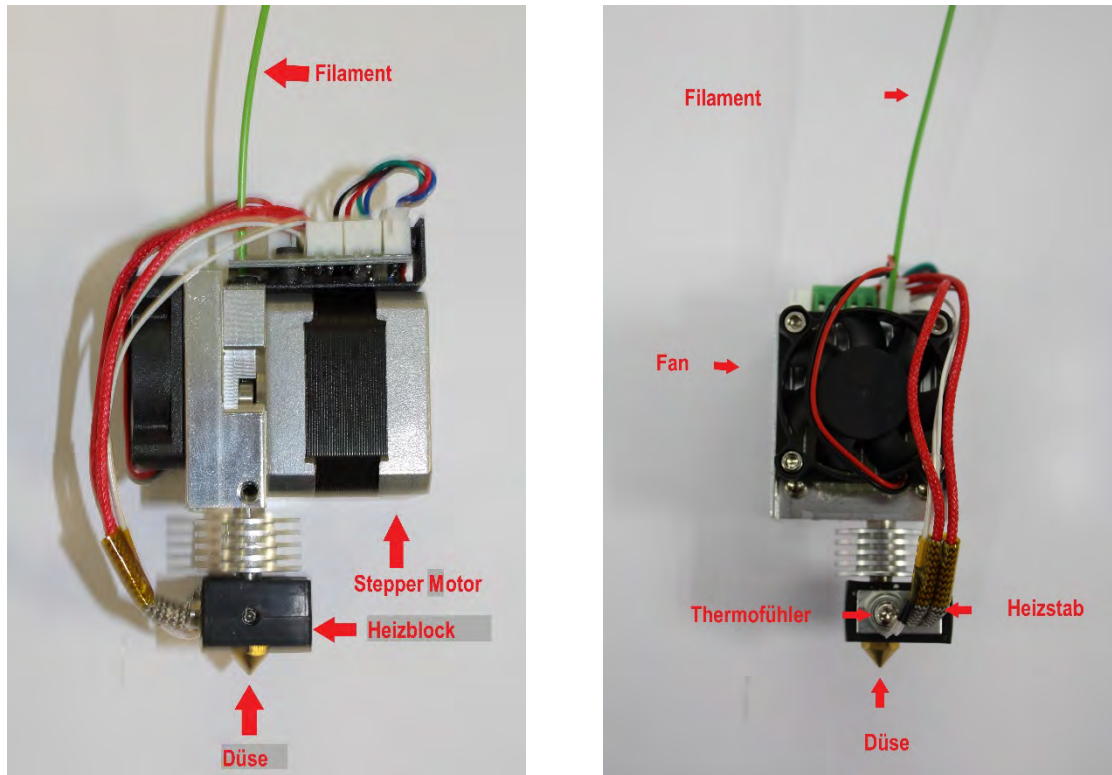


Abbildung 16 Aufbau eines Extruders links Seitenansicht, rechts Vorderansicht

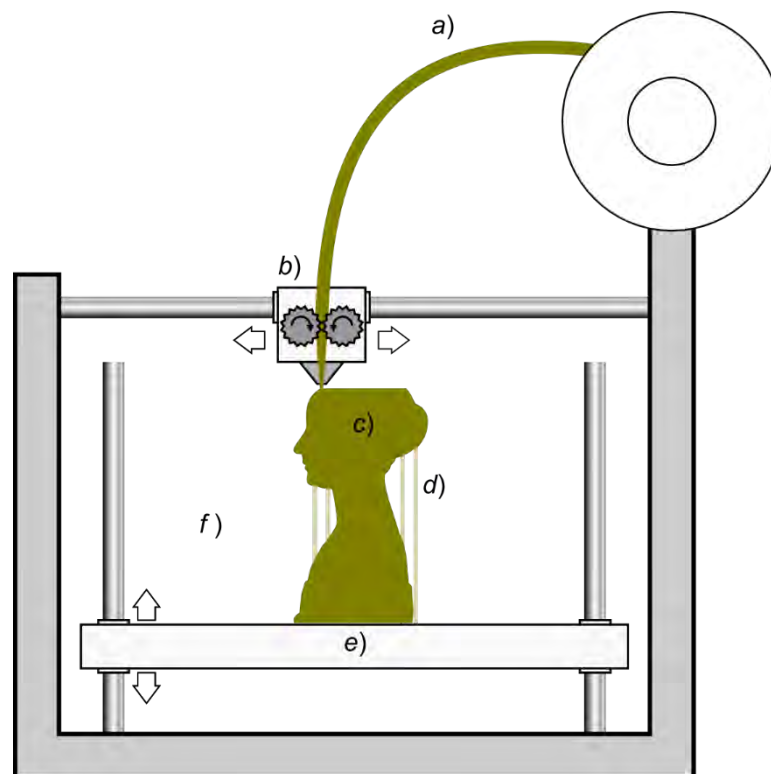


Abbildung 17 Funktionsweise eines FDM-Druckers ([Scopigno R.et.al., 2017](#))

„Schematische Darstellung der Schmelzschichten; ein Filament a) aus Kunststoffmaterial wird durch einen beheizten, beweglichen Kopf b) geführt, der es schmilzt und extrudiert, wobei es Schicht für Schicht in der gewünschten Form c) abgeschieden wird. Eine bewegliche Plattform e) senkt sich nach jeder abgelegten Schicht ab. Für diese Art von Technologie werden zusätzliche vertikale Stützstrukturen d) benötigt, um überhängende Teile abzustützen“ (*Wikipedia 2021*).

3D-Drucker verfügen über eine eigene Steuerelektronik. Diese basiert bei vielen Geräten auf der Einplatinen-Architektur Arduino. Als Betriebssystem fungiert hauptsächlich das Open Source Betriebssystem [Marlin](#). Die offene Hard- und Softwarestruktur erlaubt es allen Herstellern die Systeme auf ihre Drucker anzupassen, ohne Lizenzgebühren entrichten zu müssen. Dies schlägt sich natürlich auch sehr positiv auf den Preis der Geräte aus.

Als Speichermedien dienen USB-Sticks und/oder SD-Speicherkarten. Zunehmend erhalten auch preiswerte Geräte eine LAN- oder WLAN-Schnittstelle zum Übertragen der Druckdateien direkt vom PC auf den 3D-Drucker. Diese Schnittstellen machen es ebenfalls möglich, die 3D-Drucker über das Internet steuern zu können. Beliebte Controller-Anwendungen sind beispielsweise [OctoPrint](#) oder [AstroPrint](#).

3.1.1 Filamente

Als Kunststoffe stehen je nach Bauart des Druckers unterschiedliche Materialien zur Verfügung.

Verfügt der FDM-Drucker über keine beheizte Bauplatte, so bleibt als Materialauswahl meist nur Polyactid (PLA) sowie auf diesem Grundstoff basierende andere Filamente. PLA ist jedoch für die Herstellung taktiler Lehrmaterialien durchaus ausreichend. Es besitzt viele Vorteile, aber auch einige Nachteile.

Vorteile

- + Leicht zu verarbeiten
- + Große Farbauswahl
- + UV-stabil
- + Hohe Festigkeit
- + Auf Biomaterial basierender Rohstoff
- + Leicht zu reinigen mit Wasser oder Alkohol
- + Keine Geruchsbildung bei der Verarbeitung
- + Ungiftige Oberfläche

Nachteile

- Temperaturbeständig nur bis 55° C
- Geringere Schlagfestigkeit

Sofern der 3D-Drucker über ein beheiztes Druckbett verfügt, lassen sich auch andere Filamente wie ABS oder PETG verarbeiten, die jene Nachteile von PLA ausgleichen. Das Verarbeiten dieser Materialien ist jedoch etwas schwieriger und erfordert

gewisse Erfahrungen seitens des Bedieners. Zudem werden diese Materialien mit höheren Temperaturen gedruckt, die der Extruder auch dauerhaft erzeugen kann.

3.1.2 Erforderliches Werkzeug

Die wichtigsten Werkzeuge für die Herstellung der ersten Bauteile sind:

1. Pinzette zum Entfernen von Filamentresten von der Düse
2. Seitenschneider zum Trennen des Filaments
3. Spachtel zum Lösen des Bauteils von der Bauplatte



Abbildung 18 Die wichtigsten Werkzeuge

Für die Nachbearbeitung der Bauteile können weitere Werkzeuge nützlich sein. Hierzu zählen:

1. Bastelmesser zur Entfernung von Stützmaterial und Materialüberhängen
2. Entgrater
3. Plastikleber
4. Acrylfarbe und -Grundierung

3.1.3 Erforderliche Schutzausstattung

Ogleich das Arbeiten an FDM-Druckern relativ unproblematisch ist, benötigt man folgende persönliche Schutzausstattung (PSA):

1. FFP2 Maske beim Arbeiten nahe am Drucker (z.B.: Laden des Filaments, Kontrolle des Drucks) zur Vermeidung des Einatmens von Emissionen des erhitzten Filaments.
2. Schutzbrille beim Nacharbeiten am Bauteil bzw. Reinigen der Düse.

3. Schnitzschutzhandschuhe für das Nachbearbeiten der Bauteile mit Bastelmessern.

3.2 Aufbau und Funktionsweise von SLA-Druckern

Der Aufbau von SLA-Druckern ist bezogen auf die Anzahl von beweglichen Baugruppen deutlich simpler als FDM-Drucker.

Im Wesentlichen besteht der Drucker aus einer Systemeinheit, welche die erforderliche Elektronik, Belichtungseinheit, das Speichermedium und die Bedienelemente aufnimmt. Darüber befindet sich eine Gewindespindel, die die Bauplattform in der Z-Achse aufnimmt. Direkt auf der Systemeinheit sitzt der Tank oder VAT (Engl.: Behälter), in welchem das flüssige Photopolymer (auch Resin genannt) aufgenommen wird. Diese Behälter besitzen einen transparenten Boden, durch den die Belichtung und Härtung durch UV-Licht oder Laser erfolgt.

Damit während des Betriebes das Resin lichtgeschützt ist, wird die obere Einheit mit einer UV-Licht filternden Abdeckung geschlossen.

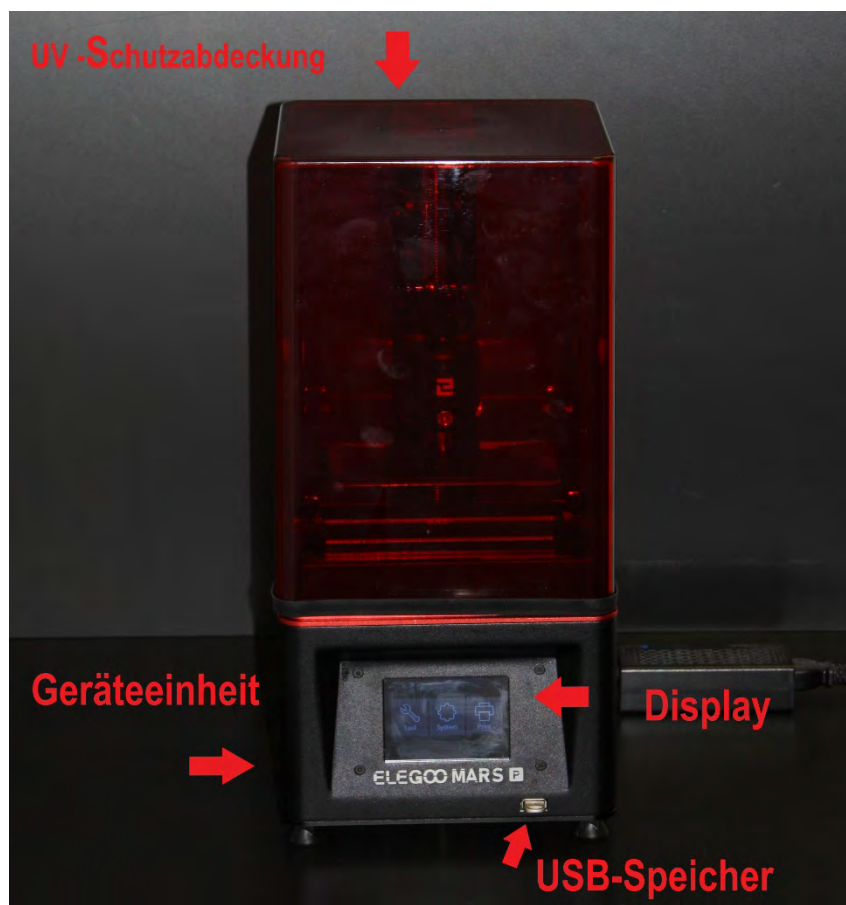


Abbildung 19 SLA-Drucker Aufbau mit Abdeckung

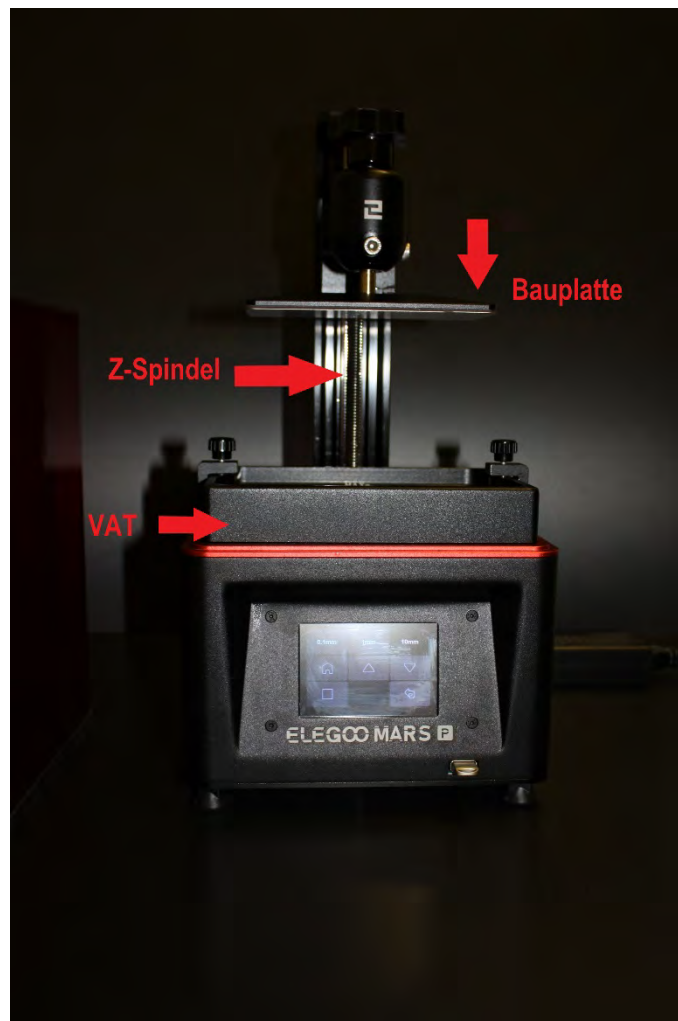


Abbildung 20 SLA-Drucker ohne Abdeckung

Die Schichtdicke von SLA-Druckern kann von 0,01 bis 0,05 mm reichen. Nach dem Aushärten sind diese Schichten in der Regel mit dem bloßen Auge nicht sichtbar. Die Oberfläche ist glatt und eignet sich somit sehr gut für Brailleschrift.

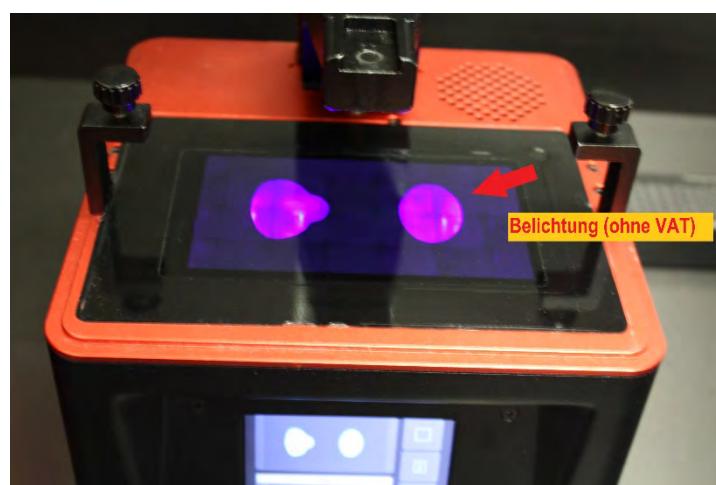


Abbildung 21 Belichtungsphase beim SLA-Druck. VAT wurde zur Darstellung abgenommen

Der Druckvorgang ist einfach beschrieben: Die Bauplatte wird je Schicht in den Tank eingetaucht. Anschließend erfolgt die Belichtung und die Resinschicht wird gehärtet und haftet an der zuvor generierten Schicht. Der Abstand zwischen dem transparentem Boden muss dabei exakt justiert werden, da sonst keine ausreichende Haftung an der Bauplatte erfolgt.

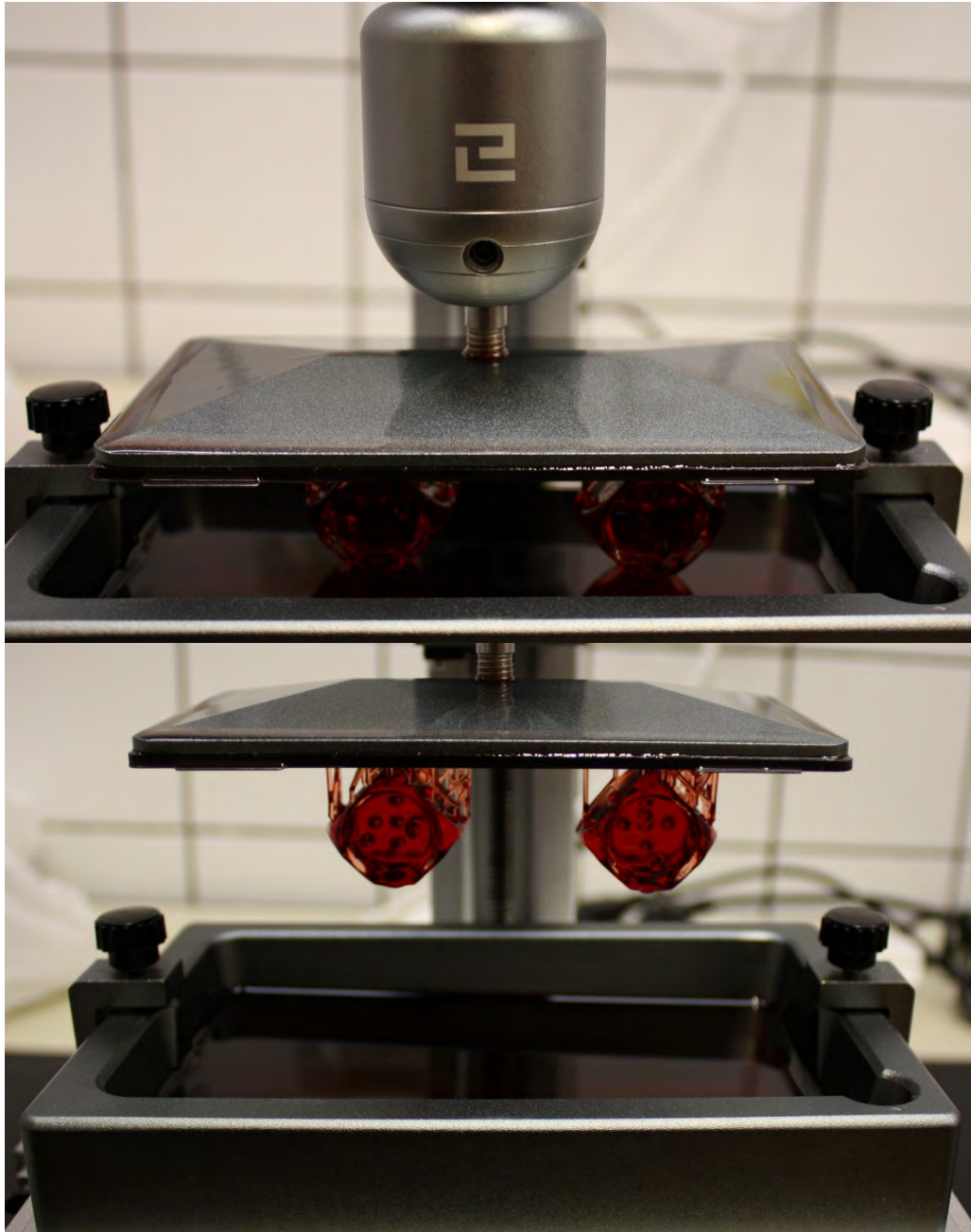


Abbildung 22 SLA-Druckvorgang

Auch SLA-Drucker verfügen über Speicherschnittstellen. Häufig verwendet werden USB-Sticks. Vereinzelt verfügen auch die kostengünstigen SLA-Drucker über LAN- und/oder WLAN-Schnittstellen.

Im Gegensatz zum FDM-Druck werden beim SLA-Verfahren für die Nachbearbeitung deutlich mehr Materialien und Werkzeuge benötigt.

Die an der Bauplatte haftenden Bauteile müssen zunächst in einem Isopropanolbad (empfohlen 99%) gereinigt werden. Nach diesem Reinigungsvorgang muss das Modell abtrocknen.

Da das Material noch nicht vollständig ausgehärtet ist, muss das Bauteil in einer UV-Härtekammer ausgehärtet werden. Abschließend sollte das Bauteil mit einem Lack mit UV-Schutz versiegelt werden. Dies verhindert ein Vergilben des Bauteils bei Lichteinstrahlung.

Nach dem Reinigen des Bauteils muss bei längerer Druckpause das unverbrauchte Resin über einen Lackfilter in die Flasche zurückgefüllt werden. Der VAT muss dann ebenfalls mit Isopropanol gründlich gereinigt werden.

Man erkennt hier leicht, dass dieses Herstellungsverfahren deutlich Arbeits-, Material- und Platzaufwändiger ist als das FDM-Verfahren. Zudem erfordern die Emissionen des Isopropanols und des Resins einen gut gelüfteten Arbeitsraum, oder besser noch, eine Abluftanlage.



Abbildung 23 SLA-Reinigungsstation mit drei Reinigungsbädern



Abbildung 24 UV-Härtekammer der Firma XYZprinting

3.2.1 Resin

Alle Druckerhersteller bieten für Ihre Geräte passende Resins an. Diese sind für einen definierten Wellenlängenbereich spezifiziert, den der Drucker leisten muss. Die Standard Resins gibt es in unterschiedlichen Farben und auch in transparenten Versionen. Unterschiedliche Resins können diverse Belichtungszeiten je Schicht erfordern. Diese Daten können entsprechenden Datenblättern der jeweiligen Hersteller entnommen werden.

Es gibt auch Fremdhersteller, die Spezial-Resins herstellen und die unter Kapitel 3.3 genannten Nachteile ausgleichen. Zudem erfüllen diese Resins besondere Anforderungen aus dem Medizin- und Dentalbereich. Erfreulicherweise werden diese Spezial-Resins mittlerweile auch für die Low-Cost-SLA-Drucker vertrieben. Waren diese bislang nur für Geräte ab 3000 € verfügbar, beweist das Angebot der Hersteller, dass die günstigeren Geräte einen immer bedeutenderen Stellenwert in der professionellen Anwendung erhalten.

Nicht verschwiegen werden darf jedoch, dass diese Spezial-Resins oftmals den Kostenfaktor 8-10 zu den Standardresins verursachen.

3.2.2 Erforderliches Werkzeug

Zur Entfernung der Bauteile von der Bauplatte, Reinigung der Bauplatte und der Resin Tanks/VAT benötigt man folgendes Werkzeug und folgende Materialien:

- Kunststoffspachtel
- Isopropanol 99% in Flasche und Sprühflasche
- Papierhaushaltstücher
- Mindestens eine Kunststoffwanne, welche die verwendete Bauplatte aufnehmen kann und zum Reinigen des Bauteils mit Isopropanol gefüllt wird
- UV-Härtekammer
- Acrylspray mit UV-Schutzkomponente

Zur Entfernung des Stützmaterials und Nachbearbeitung des Bauteils wird Folgendes benötigt:

- Spitze Pinzette
- Bastelmesser oder Skalpell
- Seitenschneider
- Schleifpapier Körnung 500

3.2.3 Erforderliche Schutzausstattung

Grundsätzlich ist die erforderliche Schutzausstattung aus den Sicherheitsdatenblättern der jeweiligen Drucker und der verwendeten Resins zu entnehmen.

Dennoch wird aber folgende persönliche Schutzausstattung (PSA) im Umgang mit SLA Druckern empfohlen:

- FFP2-Maske, besser FFP3-Maske, zum Schutz vor den Emissionen des Resins und Isopropanol
- Einweghandschuhe
- Schutzbrille
- Arbeits- oder Laborkittel

- Schnittschutzhandschuhe

3.3 Vergleich von SLA- und FDM-Druckverfahren zur Erstellung taktiler Lehrmaterialien

Vergleicht man den SLA- gegenüber dem FDM-Druck in Bezug auf taktile Lehrmaterialien, sind zunächst folgende Aspekte zu betrachten:

1. Die Oberfläche ist wesentlich glatter als beim FDM-Druck
2. Das Material ist spröder und nur eingeschränkt bei Funktionsmodellen mit mechanischer Belastung anwendbar
3. Es lassen sich filigranere und kleinere Details drucken
4. Das ausgehärtete Material ist nicht Lebensmittelecht und somit als Lernmaterial **für Kinder nicht geeignet**.

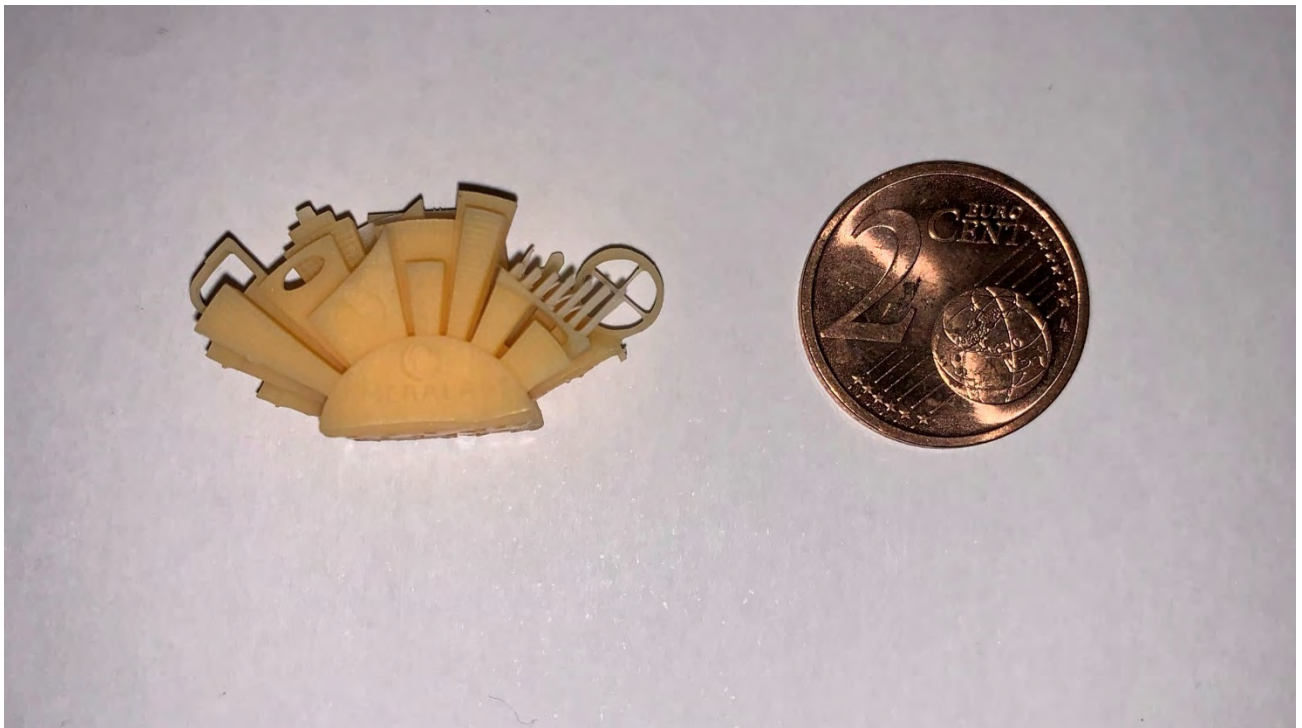


Abbildung 25 Detaildarstellung beim SLA-Druck

4 Re-Design mit 3D-Scannern

4.1 Beispiel für preiswürdige 3D-Scannerlösung

Die Anfertigung von 3D-Scans wird zunehmend mit mobilen Endgeräten attraktiver, da die hier verbaute Technik technisch immer aufwändiger und besser wird.

Ein Beispiel für eine kostengünstige Smartphone- und Tablet-App ist QLONE (www.qlone.pro). Der Preis liegt zum Zeitpunkt der Herausgabe bei ca. 45 €. Die App ist für iOS und Android verfügbar. Die Lösung liefert gute und einfach zu handhabende Ergebnisse

QLONE ist für Modelle bis 15 cm³ gedacht. Benötigt wird hierfür ein Raster, dass von der Homepage des Herstellers geladen werden kann. Dieses Raster kann auf verschiedene Papiergrößen gedruckt werden.

Auf dieses Raster muss dann das zu scannende Modell zentriert positioniert werden.



Abbildung 26 QLONE-Raster mit positioniertem Modell

Die App bietet die Möglichkeit die gescannten Modelle auf einer Datenbank zu speichern und als STL-Datei per E-Mail zu versenden.

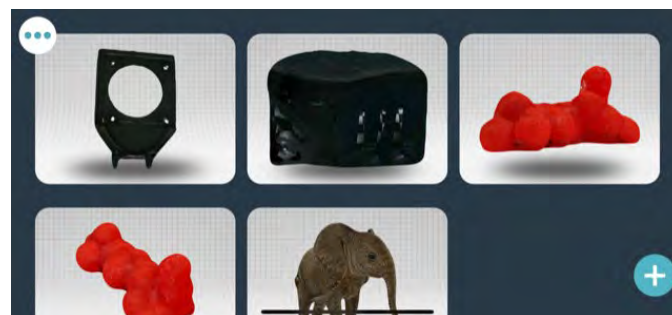


Abbildung 27 Screenshot iOS Gerät gescannter Modelle

Bei der Verwendung der Scanner-App unterstützt die Software den Anwender, um den Scan zu optimieren. Über dem Modell wird eine virtuelle Kuppel dargestellt. Der Anwender muss dann das Modell mehrfach um 360° mit der Kamera erfassen. Die korrekt erfassten Bereiche werden dann transparent dargestellt. Ist das Modell komplett erfasst, wird das Ergebnis zur STL-Datei gewandelt.

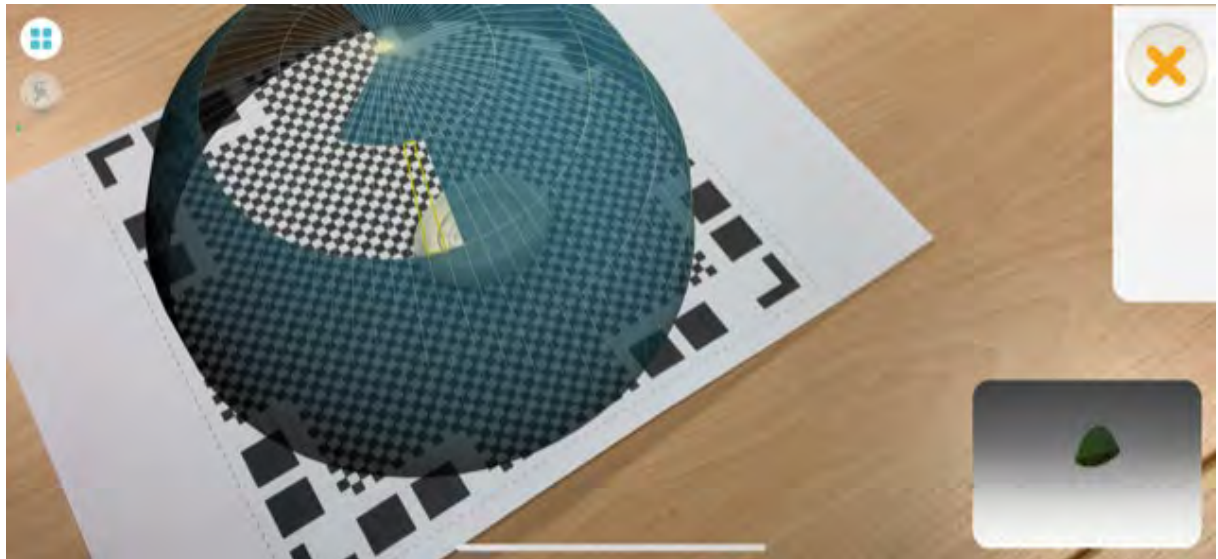


Abbildung 28 Aktiver Scanvorgang. Sichtbar ist die Halbkuppel und der erfolgte Scan

4.2 Streifenlichtscanner

Mit Streifenlichtscannern werden mittels VGA-Projektor wechselnde Streifen auf das zu scannende Objekt projiziert. Dabei wird das Objekt um 360° gedreht. Die wechselnden Streifenmuster ermöglichen der speziellen Software die Berechnung der Oberfläche. Dunkle oder transparente Gegenstände bieten hierbei oftmals keine oder zu geringe Reflektion. Daher müssen diese entweder mit Kreidespray eingesprüht oder mit speziellen Reflexionspunkten beklebt werden.

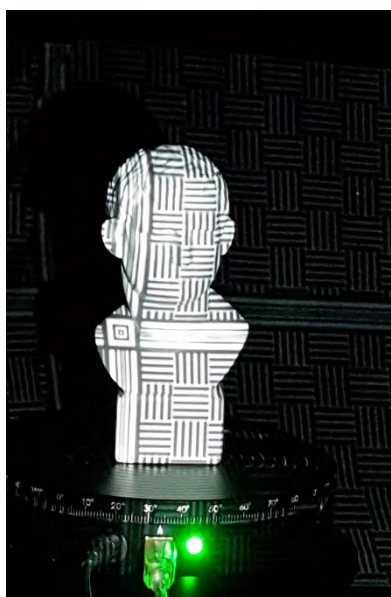


Abbildung 29 Projektion eines Streifenmusters

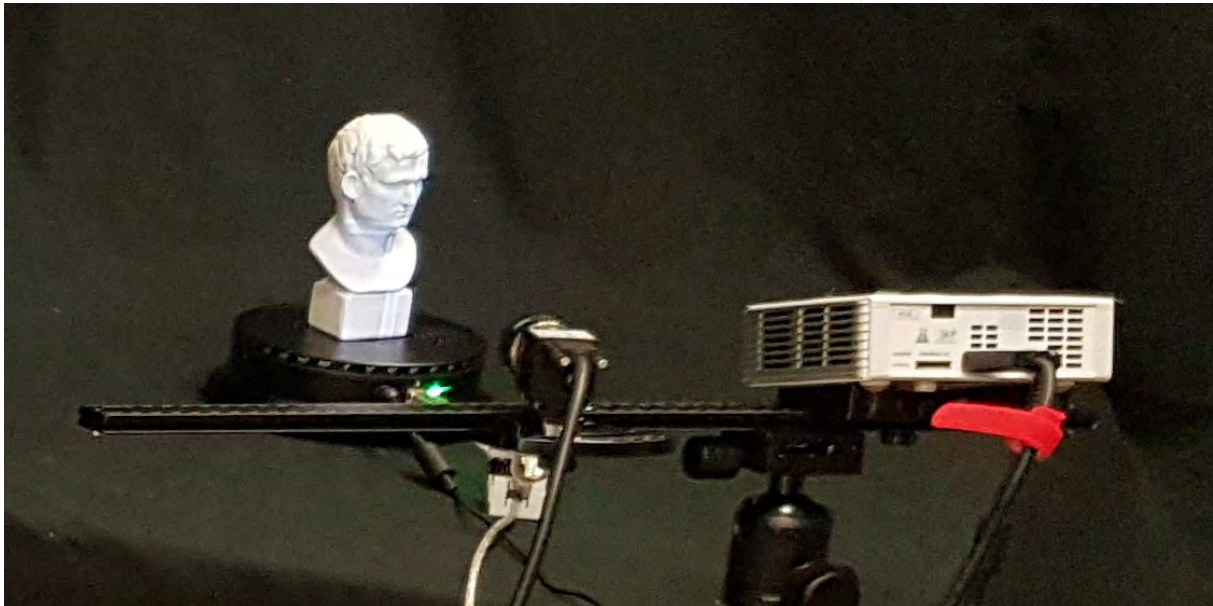


Abbildung 30 Streifenlichtscanner- VGA-Projektor neben Kamera

4.3 Bildbasierte Verfahren

Die Bildbasierten Verfahren basieren auf dem Prinzip der [Fotogrammetrie](#). Hierbei wird ein Objekt aus verschiedenen Positionen fotografiert und mittels Software als 3D-Modell zusammengefügt. Zum Scan besonders großer Modelle oder von Gebäuden werden heute Drohnen eingesetzt.

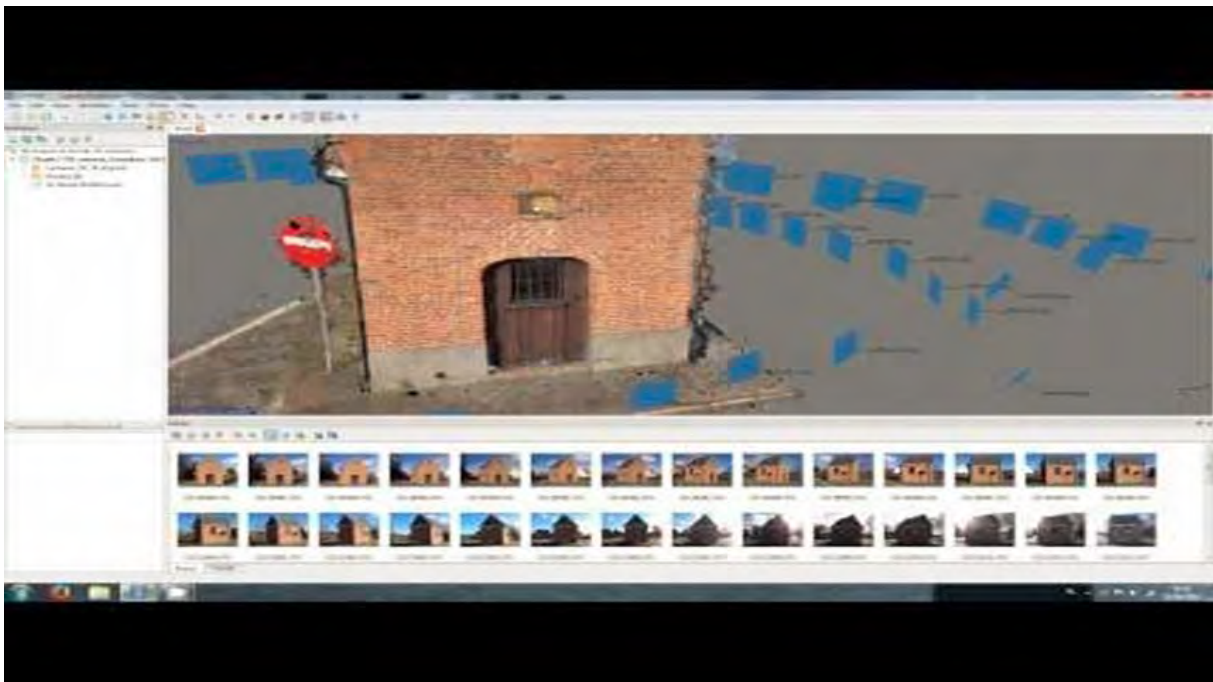


Abbildung 31 Photogrammetrie-Software 3DZephyr

5 Glossar

3D-Selfie

Unter einem 3D-Selfie wird ein Selbstporträt aus einem 3D-Drucker verstanden. Das Ergebnis ist eine gedruckte Figur von einer oder mehreren Personen, die auf Basis von einem zuvor erstellten Foto ausgedruckt wird. Ein wichtiger Zwischenschritt ist es das Foto vor dem 3D-Druck in eine CAD-Datei umzuwandeln. Dafür ist eine 3D-Software notwendig, die aus dem 2D-Bild ein 3D-Modell konstruiert. Die Daten werden anschließend an einen 3D-Drucker gesendet, der das Selfie schichtweise aufbaut.¹

3D-Stift (3Doodler)

Als 3D-Stift werden Stifte bezeichnet, die flüssigen Kunststoff per Extrusion aus dem Extruder, der in die Stiftspitze integriert ist, herauspressen. Geschwindigkeit und Menge von dem herausgepressten Kunststoff kann vom Anwender in den meisten Fällen gesteuert werden. Wurde der flüssige Kunststoff herausgepresst, beginnt er an der Luft schnell zu trocknen. So lassen sich 3-dimensionale Objekte aus Kunststoff zeichnen. Wird der fadenförmige Kunststoff (Filament) während der Anwendung in eine andere Farbe gewechselt, lassen sich auch mehrfarbige Objekte mit einem 3D-Stift erstellen. Ein 3D-Stift mit Dual-Extruder ist zum Zeitpunkt heute nicht bekannt.

Die 3D-Stifte erlangten erstmals weltweite Aufmerksamkeit als der erste Prototyp des 3Doodlers von Maxwell Bogue und Peter Dilworth Anfang 2012 vorgestellt wurde. Aus einem fehlerhaften 3D-Druck entstand die Idee für den 3D-Stift. Beide Erfinder starteten unter der Firma „WobbleWorks“ eine Crowd-Funding-Kampagne auf Kickstarter mit dem Ziel \$30.000 zu erreichen. Bereits nach wenigen Stunden war das Finanzierungsziel erreicht. Am 25.03.2013, dem Ende der Finanzierungsrunde, sammelte „WobbleWorks“ für seinen 3Doodler mehr als 2 Millionen US-Dollar. Im Januar 2015 wurde der Nachfolger 3Doodler 2.0 veröffentlicht. Seither existieren zahlreiche neue Modelle unterschiedlichster Hersteller auf dem Markt.²

ABS

ABS-Filament für 3D-Drucker (Acrylnitril-Butadien-Styrol) ist ein synthetisches Terpolymer und gehört zu den amorphen Thermoplasten. Im FDM-Verfahren des 3D-Drucks ist ABS-Filament gleichbedeutend wichtig wie PLA-Filament, unterscheidet sich aber in gewissen Punkten.

ABS-Filament überzeugt durch eine hohe Hitzebeständigkeit und eine harte, kratz feste Oberfläche. Auf Grund der vielen guten Eigenschaften, kommt ABS-Plastik außerhalb des 3D-Druckers in vielen Haushalts- und Konsumprodukten zum Einsatz. ABS-Filament ist etwas schwieriger zu verarbeiten als PLA-Filament. Die größte Schwierigkeit ist die starke Tendenz zum Warping – hier hilft eine beheizte Druckplatte und/oder ein geschlossener Bauraum des Druckers.

¹ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/3d-selfie/> (07.05.19)

² <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/3d-stift/> (07.05.19)

Um das vorzeitige Ablösen des Drucks von der Druckplatte zu verhindern, ist die passende Druckunterlage entscheidend. Hier gibt es zusätzliche Hilfsmittel wie z. B. Dauerdruckplatten oder Haftspray.³

Autodesk Fusion 360

CAD Software

- Cloudbasiert
- Mac und PC

Bauplatzform, Druckbett, Heizbett

Das Druckbett zählt zu den elementar wichtigsten Bauteilen bei einem 3D-Drucker. Gemeint ist der Bereich auf dem die Objekte schichtweise aufgebaut werden.

Abhängig vom Druckertyp, verhält sich das Druckbett still oder bewegt sich horizontal oder vertikal. Für das Druckergebnis ist das Druckbett von zentraler Bedeutung. Die erste Schicht des zu druckenden Objektes muss zum einen gut auf dem Druckbett haften. Zum anderen muss sich das Objekt nach dem 3D-Druck leicht wieder vom Druckbett lösen lassen. Diese Anforderungen erfüllten einfache 3D-Drucker in den ersten Jahren der Low-Budget-3D-Drucker oftmals nicht.

Mit Weiterentwicklung und Optimierung der Geräte in den vergangenen Jahren werden heute deutlich bessere Druckbetten in den Geräten verbaut oder sind nachrüstbar. Einen wesentlichen Anteil daran haben auch die beheizbaren Druckbetten, s.g. Heatbeds. Zu den bekannten Marken für Druckbetten gehören BuildTak, Aptotec und SainSmart.⁴

Cura

Slicing Software

Direkt Manufacturing

Bauteile mit Endprodukt-Charakter

Digital Light Processing (DLP)

Bei der Digitalen Lichtverarbeitung handelt es sich um eine weitere 3D-Druck-Technologie, die auf Harzbasis arbeitet. Sie wird von DLP-3D-Druckern verwendet. Hier entsteht das Objekt durch einen digitalen Lichtprozessor, der als UV-Lichtquelle dient, und photoreaktives Harz verfestigt. Bei dem im 3D-Drucker verbauten Projektor kann es sich beispielsweise um einen Videoprojektor handeln, dessen Auflösung auch die 3D-Druck-Auflösung bestimmt. Durch den Lichtprojektor ist die Druckgeschwindigkeit der DLP-3D-Drucker meist höher als bei anderen 3D-Druck-Verfahren. Der Lichtprojektor härtet das Harz hier Schicht für Schicht aus.⁵

Das DLP-Verfahren ist dem SLA-Verfahren sehr ähnlich und basiert auf lichtbedingte Aushärtung von photoreaktiven Harzen. Bei SLA-Druckern wird jedoch meist ein Laser eingesetzt. In diesem Tutorial werden beide Verfahren einfach als SLA-Verfahren bezeichnet.

Extruder, Dual Extruder,

³ <https://www.filamentworld.de/produkt-kategorie/abs-filament-3d-drucker/> (07.05.19)

⁴ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/druckbett/> (07.05.19)

⁵ <https://www.3d-grenzenlos.de/3d-druckverfahren/photopolymerisation/digital-light-processing-dlp/>

Als Extruder wird das Bauteil an einem 3D-Drucker bezeichnet, mit dem das geschmolzene Filament aus der Düse des Gerätes herausgepresst wird. Dabei rotiert eine Spirale in einer Röhre und transportiert das Kunststofffilament – oder jedes beliebige andere Druckmaterial – auf das Druckbett. Der Extruder ist an den Bewegungsschienen (oder -Armen bei einem Delta-3D-Drucker) des 3D-Druckers befestigt und rotiert auf der x-, y- und z-Achse. Dabei wird gleichmäßig das Druckmaterial aus dem Extruder gepresst und das zu druckende Objekt so schichtweise aufgebaut.

Der Extruder ist ein wesentlicher Bestandteil der Extrusion, dem Verfahren, bei dem verformbare Materialien wie Kunststoff, Keramik, Biomasse, Lebensmittel aber auch Metalle unter Druck kontinuierlich aus einer formgebenden Öffnung herausgepresst werden.⁶

Filament

Als Filament werden im 3D-Druck fadenförmige Kunststoffstränge verstanden, die mit Hilfe von Extrusion das zu druckende Objekt schichtweise aufbauen. Filamente kommen beim Fused Deposition Modeling (FDM)/ Fused Filament Fabrication (FFF) als Druckmaterial zum Einsatz. Die marktbeherrschenden Filamente sind ABS und PLA. Für Einsteiger ist PLA besser geeignet, da es sich besser drucken lässt. Bei ABS-Druckobjekten lässt sich dafür z.B. mit Aceton die Oberfläche glätten, was zu sehr ansehnlichen Ergebnissen führt. Probleme wie den „Warp-Effekt“ treten dafür bei PLA nicht auf.

Seit einigen Jahren sind auch immer mehr flexible Filamente auf dem Markt erhältlich. Dabei handelt es sich um thermoplastische Elastomer (kurz TPE), also Kunststoff, die Belastungen wie Zug oder Druck standhalten, sich verformen und bei Nachlassen der Belastung wieder ihre ursprüngliche Form annehmen. Als Beispiel sei ein Gummiball genannt⁷.

Fused Deposition Modeling (FDM), Fused Filament Fabrication (FFF)

FDM-, FFF-, FLM- und MJM-Verfahren gehören zu den Extrusionsverfahren.

Es handelt sich hierbei um Prozesse, bei denen ein bis zum teigigen Zustand erhitztes thermoplastisches Material vorzugsweise kontinuierlich durch eine oder mehrere Düsen gepresst wird und den so entstehenden Strang definiert auf einem Substrat ablegen. Die Energie im Material reicht dabei aus, das Substrat so anzuschmelzen, dass nach dem Abkühlen eine dauerhafte Verbindung entsteht.⁸

G-Code

Im Rahmen des 3D-Drucks werden unter „G-Code“ Druckbefehle verstanden, die von einer Software generiert werden, um Befehle in Form von Handlungsanweisungen an einen 3D-Drucker zu übermitteln. Der G-Code kann also als Sprache zwischen Computer/ CAD-Software und dem 3D-Drucker verstanden werden.

Es gibt verschiedenen Möglichkeiten G-Codes zur Verwendung für den 3D-Druck vorzubereiten. Beim Slicen zum Beispiel gibt es für jede Ebene einen Code. Oder man arbeitet mit einer Bibliothek, die den Druck komplizierter Modelle besser

⁶ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/extruder/> (07.05.19)

⁷ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/filament/> (07.05.19)

⁸ Gebhardt, Andreas: Additive Fertigungsverfahren, Carl Hanser Verlag, München, 2016, S.259

kontrollierbar macht. Die G-Codes können aber auch selber geschrieben werden und lassen sich sogar teilweise noch während des laufenden Druckes ändern. Findige Maker nutzen G-Codes auch für die Reparatur ihrer 3D-Drucker. Und zwar immer dann, wenn Befehle benötigt werden, welche die Steuerungssoftware nicht enthält.⁹

IDEX

Als IDEX werden Dual Extruder bezeichnet, die auch unabhängig voneinander drucken können. Mit IDEX ist es möglich, mit zwei Filamenten ein Bauteil zu drucken oder zwei kleinere Bauteile gleichzeitig mit jeweils einem der Extruder zu drucken.

Layer

Als Layer wird beim 3D-Druck jede einzelne Schicht bezeichnet, mit der ein 3D-Drucker das Objekt Schicht für Schicht aufbaut. Eine Vielzahl von Layer ergibt ein vollständig schichtweise aufgebautes 3D-Objekt.

Häufig im Zusammenhang mit Layer werden die Begriffe Layergröße, Layerhöhe und Schichthöhe verwendet. Gemeint ist damit die Höhe einer einzelnen Schicht, mit der der 3D-Drucker das Objekt aufbaut. Die Schichthöhe ist abhängig vom eingesetzten 3D-Drucker und gehört zu den elementaren Produkteigenschaften für 3D-Drucker.

MeshMixer

Kostenfreie Software zur 3D-Modellierung und einfachen Mesh-Optimierung von der Firma Autodesk.

Nivellieren

- Ausrichten des Druckbetts/Bauplatzform
- Aufheben der Unterschiede zwischen verschiedenen Niveaus

Nozzle

Der Begriff „Nozzle“ stammt aus dem Englischen und steht für Düse. Beim 3D-Druck ist also mit „Nozzle“ die Düse gemeint, die Teil des Extruders – also des Druckkopfes – ist. Durch die Düse wird das Verbrauchsmaterial, welches im Fachjargon auch als Filament bezeichnet wird, gedrückt und schichtweise auf die Bauplatte bzw. Druckplatte aufgebracht. Bei den meisten 3D-Druckern kann die Nozzle ausgetauscht werden. Während des Druckvorgangs ist die Düse meist sehr heiß. Je nach verwendetem Material, aber auch abhängig von der Größe der Öffnung, kann es immer mal wieder zu Verstopfungen kommen, die zu beseitigen sind. Zugleich wird sie im Laufe der Zeit unter Verschleißerscheinungen leiden und muss in dem Fall dann ausgetauscht werden. Die Öffnung der Düse sollte je nach verwendetem Material und zu realisierendem Objekt ausgewählt werden.

⁹ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/g-code/> (07.05.19)

Als Standard greifen die meisten Maker meist auf Düsen zurück, deren Öffnung bei 0,4 mm Durchmesser liegt. Die Auswahl der Düsenöffnung kann sich sowohl auf die Druckzeit als auch die Druckqualität auswirken.¹⁰

PETG

Filament

PETG steht für Polyethylenterephthalat, modifiziert mit Glykol.

PETG-Filament ist anderen Filamenten in vielen Eigenschaften überlegen. Es vereint die positiven Eigenschaften von PLA und ABS.

PETG ist nämlich sehr widerstandsfähig, verfügt über starke mechanische Eigenschaften, ist schwer entflammbar, resistent gegen viele Chemikalien und leicht zu drucken.

Die Druckgeschwindigkeit für PETG-Filament variiert je nach Drucktemperatur: Je heißer der Druckkopf, desto schneller kann der 3D-Drucker das PETG drucken¹¹.

PLA

Filament

Poly lactide (Kurz PLA) sind synthetische Polymere, die zu den Polyestern gehören.

Aus ihnen wird Kunststoff gefertigt, der aus regenerativen Quellen gewonnen wird (wie beispielsweise Maisstärke). Dies macht PLA zu einem biokompatiblen Rohstoff.

3D-Druck-Filament ist oftmals kein reines PLA, sondern ein sogenannter PLA-Blend, dessen Grundstruktur mit Additiven angereichert wird, um bestimmte gewünschte Eigenschaften zu erhalten.¹²

PVA

Filament

Polyvinylalkohol (Kurzzeichen PVA oder PVOH) ist ein thermoplastischer Kunststoff, der als weißes bis gelbliches Pulver meistens durch Verseifung (Hydrolyse) von Polyvinylacetat (PVAC) hergestellt wird. PVA ist wasserlöslich und eignet sich daher gut als Stützmaterial für den 3D Druck.

Raft

Bodenplatte bei der AF

Es wird ein flacher Bereich rund um oder unter ihr Objekt hinzugefügt, das nach dem Druck leicht wieder abgemacht werden kann.

Resin

Resin-Kunstharz ist ein Überbegriff für UV-härtende Flüssigkunststoffe. SLA-Resin ist ein Material, das bei Kontakt mit Licht beginnt auszuhärten.

¹⁰ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/nozzle/> (07.05.19)

¹¹ <https://www.filamentworld.de/produkt-kategorie/special-filament/petg-filament> (07.05.2019)

¹² <https://www.filamentworld.de/3d-druck-wissen/was-ist-pla/> (07.05.2019)

Selektives Laserschmelzen (SLM)

Das selektive Laserschmelzen (SLM), im englischsprachigen Umfeld auch als Selective Laser Melting bezeichnet, ist ein generatives Fertigungsverfahren, das zur Gruppe der Strahlschmelzverfahren gehört. Häufig wird das selektive Laserschmelzen auch als 3D-Druck bezeichnet und zählt demnach zu den additiven Fertigungsverfahren.

Bei dem SLM-Verfahren wird der Werkstoff als Pulver auf die Grundplatte aufgebracht und mit dem Laserstrahl eingeschmolzen. Das Material erstarrt und die Grundplatte wird um die Schichtdicke abgesenkt, damit neues Pulver aufgetragen werden kann. Mit einer 3D-Software (siehe auch CAD) werden die Daten für die Laserstrahlführung erstellt. Das Objekt wird dann von dem SLM-3D-Drucker aus vielen einzelne Schichten aufgebaut. Dieser schichtweise Aufbau wird solange wiederholt, bis alle Schichten aus Pulver umgeschmolzen sind. Die Form des Objektes ergibt sich also aus den Bereichen, wo Pulver von der Maschine abgelegt und vom Laser geschmolzen wurde.

Nach Fertigungsende wird das hergestellte Produkt von Pulverrückständen befreit und ist bereit zur Verwendung. Meist werden Serienwerkstoffe ohne Bindemittel verwendet, da man diese pulverisieren kann.

Beim selektivem Laserschmelzen werden keine (Guss-)Formen benötigt, somit wird geometrische Freiheit geschaffen. Die Fertigungszeit verringert sich, was zu reduzierten Lager- und Produktionskosten führt.¹³

Selektives Laser-Sintern (SLS)

Selektives Lasersintern ist ein additives Fertigungsverfahren (AM), das einen Laser als Energiequelle verwendet, um pulverförmiges Material zu sintern. Es ist dem selektiven Laserschmelzen ähnlich und gehört zu den pulverbettbasierten Verfahren. SLS und SLM basieren auf einem ähnlichen Konzept, unterscheiden sich aber in technischen Details. Beim SLM-Verfahren wird der Aggregatzustand des Pulvers durch Aufschmelzen verändert; das Pulver wird verflüssigt und beim Abkühlen wird es fest. Beim SLS-Verfahren verbindet der Laser das Pulver nur.

Slicen

Um den Druck vorzubereiten, muss das Objekt optimal auf der Bauplattform ausgerichtet sein und in Höhenschichten zerlegt werden. Man spricht hier von Slicen.¹⁴

Stereolithografie (SLA oder STL)

Bei der Stereolithografie wird ein lichtaushärtender flüssiger Kunststoff (Photopolymer), zum Beispiel Kunst- oder Epoxidharz, von einem Laser in dünnen Schichten ausgehärtet. Dies geschieht in einem Bad, welches mit den Basismonomeren des lichtempfindlichen Kunststoffs gefüllt ist. Nach jedem Schritt wird das Werkstück einige Millimeter in die Flüssigkeit abgesenkt und auf eine Position zurückgefahren, die um den Betrag einer Schicht unter der vorherigen liegt. Der flüssige Kunststoff wird über der vorherigen Schicht durch einen Wischer

¹³ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/selektives-laserschmelzen-sls/> (29.04.2019)

¹⁴ <https://www.computerwoche.de/a/von-der-idee-oder-vorlage-zum-3d-druck,3214091,3> (29.04.2019)

gleichmäßig verteilt. Danach fährt ein Laser, der über bewegliche Spiegel gesteuert wird, auf der neuen Schicht über die aushärtende Fläche.¹⁵

STL-Dateiformat

STL-Dateien beschreiben Mesh-Oberflächen als Listen geometrischer Merkmale. Ein Körper wird aus drei dreieckigen Oberflächen zusammengesetzt, welche aus einer Normalen und drei Achsen bestehen, die durch ihre Koordinaten beschrieben werden.¹⁶

Das STL-Dateiformat stellt für die CAD-Programme geometrische Informationen bereit, um mit Hilfe von 3D-Druck dreidimensionale Objekte fertigen zu können.¹⁷

Support

Damit werden Strukturen zur Unterstützung von Modelteilen mit Überhängen generiert. Ohne diese Struktur würden solche Teile zusammenfallen.¹⁸

Tank/VAT

Der Resin Tank ist ein transparenter Behälter, der sich mitten in dem Formlabs 2 3D-Drucker befindet. Er besteht aus einem UV-blockierenden Acryl. Die Tanks, in denen sich das flüssige Harz befindet, können sehr schnell und einfach herausgenommen und wiedereingeführt werden. Zusätzlich ermöglicht der wiederverwendbare Deckel das Stapeln von mehreren bereits mit Harz befüllten Tanks. Somit können, die nach einem 3D-Druck übrig gebliebenen Kunstharze, sicher und einfach außerhalb des Formlabs 2 3D-Druckers aufbewahrt werden. Es bietet sich an, für jede Sorte des Kunstharzes einen Resin Tank zu besitzen. Somit können Sie jederzeit spontan entscheiden, mit welchem Material Sie arbeiten möchten. Die iGo3D empfiehlt Ihnen nach 2-3 Litern Harz-Verbrauch die Resin Tanks zu wechseln.¹⁹

Als VAT wird der Behälter bei Digital Light Processing (DLP) Druckern bezeichnet. Hier besteht der Boden aus einer wechselbaren Klarsichtfolie.

Thingiverse

Thingiverse ist eine Online-Plattform zum Austausch von digitalen Design-Daten (CAD), die für 3D-Drucker, Laser-Cutter, CNC-Fräsen und andere Maschinen genutzt werden können. Thingiverse gehört zu den weltweit bekanntesten Plattformen der DIY-Bewegung. Die auf Thingiverse.com hochgeladenen Dateien sind Open Source und unterliegen hauptsächlich den CC- und GPL-Lizenzen. Der Großteil der auf Thingiverse hochgeladenen Dateien dient Reparaturzwecken. Aber auch Schmuck, Dekoartikel und kreative Ideen finden sich in unzähligen Varianten auf Thingiverse, die z.B. mit dem 3D-Drucker von jedem zu Hause selbst ausgedruckt werden können.

¹⁵ Fastermann, Petra: 3D-Druck/Rapid Prototyping, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, S. 121

¹⁶ <https://www.sculpteo.com/de/glossar/stl-definition-de/> (29.04.2019)

¹⁷ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/stl-dateiformat/> (29.04.2019)

¹⁸ Cura

¹⁹ <https://www.conrad.de/de/p/resin-tank-formlabs-2-passend-fuer-formlabs-form-2-1527299.html> (25.04.2019)

Eigentümer von Thingiverse ist MakerBot. Urheber von Thingiverse sind die MakerBot-Gründer Zach Smith und Bre Pettis. Die Plattform ist seit November 2008 online und in englischer Sprache verfügbar. Gegründet wurde Thingiverse von Zach Smith.²⁰

Z-Wobble / Z-Wobble

Ein Z-Wobble (alternativ auch Z-Wobbel geschrieben) entsteht, wenn seitliche Kräfte auf die Mutter auf der Gewindestange einwirken. Dies kann bei einigen 3D-Druckern zu einer Verdrehung der Z-Achse führen. In deren Folge verschiebt sich der Extruder sowohl in die Y- und Z-Richtung.

Es gibt einige Gründe, die zu einem Z-Wobble führen können. Dazu gehören unter anderem eine verbogene Gewindestange, ein Anschlagen der Gewindestange an einem der Löcher und eine nicht korrekt sitzende Gummischlauchkupplung.

²⁰ <https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/thingiverse/> (25.04.2019)

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Früher SLA Drucker „SLA-1“ (Quelle: ResearchGate)	4
Abbildung 2 Grafik von Charles Hulls Patentanmeldung	5
Abbildung 3 Klassische Herstellungsverfahren	6
Abbildung 4 Additive Fertigungsverfahren	7
Abbildung 5 Formfreiheit. Beide Modelle wurden in einem Druckvorgang hergestellt. 7	
Abbildung 6 Schwellpapierdarstellung einer Computeroberfläche	8
Abbildung 7 Modell einer Tastatur hergestellt mit Thermoverformung	9
Abbildung 8 Matrize der Tastatur aus voriger Abbildung	9
Abbildung 9 Taktiler Lageplan aus dem 3D-Drucker	10
Abbildung 10 3D-Modell aus dem gleichen Grundriss der vorigen Abbildung	10
Abbildung 11 Tastmodelle von Zellstrukturen	11
Abbildung 12 Beispiel Türschilder mit Brailleschrift.....	11
Abbildung 13 Beispiel Braille-Lerntafeln	12
Abbildung 14 Facettendarstellung einer STL-Datei.....	13
Abbildung 15 Der Weg zum 3D-Druck.....	14
Abbildung 16 Aufbau eines Extruders links Seitenansicht, rechts Vorderansicht.....	17
Abbildung 17 Funktionsweise eines FDM-Druckers (Scopigno R., et.al., 2017)	17
Abbildung 18 Die wichtigsten Werkzeuge	19
Abbildung 19 SLA-Drucker Aufbau mit Abdeckung.....	20
Abbildung 20 SLA-Drucker ohne Abdeckung.....	21
Abbildung 21 Belichtungsphase beim SLA-Druck. VAT wurde zur Darstellung abgenommen	21
Abbildung 22 SLA-Druckvorgang.....	22
Abbildung 23 SLA-Reinigungsstation mit drei Reinigungsbädern	23
Abbildung 24 UV-Härtekammer der Firma XYZprinting	23
Abbildung 25 Detaildarstellung beim SLA-Druck	25
Abbildung 26 QLONE-Raster mit positioniertem Modell	26
Abbildung 27 Screenshot iOS Gerät gescannter Modelle	26
Abbildung 28 Aktiver Scanvorgang. Sichtbar ist die Halbkuppel und der erfolgte Scan	27
Abbildung 29 Projektion eines Streifenmusters.....	27
Abbildung 30 Streifenlichtscanner- VGA-Projektor zwischen zwei Kameras	28
Abbildung 31 Photogrammetrie-Software 3DZephyr	28

7 Quellenverzeichnis

Scopigno R., Cignoni P., Pietroni N., Callieri M., Dellepiane M. (2017). "[Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey](#)". *Computer Graphics Forum* **36** (1): 6–21. DOI:[10.1111/cgf.12781](#). Gelesen: 24.03.2021

Wikipedia (2021); 3D printing processes;
https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing_processes#Material_extrusion; gelesen
01.05.2021