IO1 – Methodik zur Definition von Übungen mit Einsatz des 3D-Drucks in Bildungseinrichtungen

3D DRUCK TECHNIK-LEITFADEN

- 01A1-

Vermittlung von Basiswissen zum 3D-Druck für Berufsschullehrer



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

E3D+VET

ERASMUS+ 3D PRINTING VET CENTRES



ERASMUS3D+

Für die Verbreitung von 3D-Druck in Berufsbildungszentren

Projektvertragsnummer 2017-1-DE02-KA202-004159

Diese Arbeit ist lizenziert unter https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



TEILNEHMENDE ORGANISATIONEN



Disclaimer:

"Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Befürwortung der Inhalte dar, die nur die Ansichten der Autoren widerspiegeln, und die Kommission kann nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen verantwortlich gemacht werden."

Output Identifikation	01
Output Titel	IO1 – Methodik zur Definition von 3D-Druckübungen, die für die transversale Ausbildung geeignet sind
Output Beschreibung	O1-A1 Vermittlung von Basiswissen zum 3D-Druck für Berufsschullehrer
Version	v.1.3 (lange Version)

EBD+VET ERASMUS+ 3D PRINTING VET CENTRES

INDEX

SCHEMA INDEX			5
TABELLE INDEX			5
1. EINFÜHRUNG: ADDITIVE N	ANUFACTURING	X	6
1.1. Was ist Additive Mar	ufacturing?		6
1.2. Wie funktioniert 3D-	Druck?		7
1.3. Was ist Rapid Protot	yping?		8
2. TECHNOLOGIEN			9
2.1. FUSED DEPOSITION I	MODELING (FDM)		
2.1.1. Prozess, Mater	ialien, Anwendungsbereiche		
2.1.2. Stärken und Scl	hwächen		
2.2. SELEKTIVES LASERSIN	VTERING (SLS)		
2.2.1. Prozesse, Mate	rialien, Anwendungsbereiche .		
2.2.2. Stärken und Scl	hwächen		
2.3. STEREOLITHOGRAPH	IIE (SLA)		
2.3.1. Prozess, Mater	ialien, Anwendungsbereiche		
2.3.2. Stärken und Scl	hwächen		
3. PRODUKTIONSPROZESS IN	/I 3D-dRUCK		
3.1. Erhalten des Digitale	n Modells		24
3.2. Exportieren and Rep	arieren der STL Datei		
3.3. Testen, orientieren,	verteilen und G-Code		
3.3.1. Analysieren des	s Stücks oder Modells		
3.3.2. Unterstützende	e Strukturen		
3.3.3. Modellfüllung.			
3.3.4. Positionierung	und Orientierung		
3.3.5. Generierung de	es G-Codes		
3.4. 3D-Druck			
3.5. Entnahme der Stücke	e		
3.6. Nachbearbeitung			
4. SOFTWARE, DIE FÜR DEN	3D-DRUCK BENÖTIGT WERDEN		
4.1. Programme für die K	onstruktion		
4.2. Programme zum Tes	ten, Orientieren und Repariere	n	
4.3. Programme zur Gene	erierung des G-Codes		
4.4. 3D Printing Workflow	v		51
5. 3D-DRUCKMATERIALIEN			52
5.1. Overview			52
5.2. FDM, SLS und SLA 3D	D-Druckmaterialien		55
6. BESCHRÄNKUNGEN VON (GEDRUCKTEN OBJEKTEN		57
6.1. Einschränkungen der	r additiven Fertigung und des 3	D-Drucks	57
6.2. Einschränkungen je r	nach Art der Technologie		
6.3. Einführung in die Ein	schränkungen der FDM-Techno	ologie	61
7. BEISPIEL			



ABBILDUNG INDEX

Abbildung 1: FDM Drucker. [3]	7
Abbildung 2: SLA Drucker. [4]	7
Abbildung 3: SLS Drucker. [5]	7
Abbildung 4: 3D-Druckprozess. [7]	8
Abbildung 5: Prototypen eines Skibrillenrahmens mit FDM-, SLA- und SLS-Technologie (von link	ks nach
rechts). [9]	10
Abbildung 6: 3D-Druck Technologien im Vergleich. [10]	11
Abbildung 7: FDM Technologie. [12]	12
Abbildung 8: FDM Vorteile. [18]	15
Abbildung 9: SLS technologie. [19]	16
Abbildung 10: Schuh Silhouette mit SLS erstellt. [23]	17
Abbildung 11: Harz 3D Drucker Teilübersicht. [24]	19
Abbildung 12: Harz Eigenschaften. [25]	21
Abbildung 13: Photometrische 3D-Drucke. [26]	23
Abbildung 14: Teil modelliert mit Rhinoceros. [28]	25
Abbildung 15: Reverse- Engineering-Prozess. [29]	26
Abbildung 16: Beispiele von Teilen aus dem Thingiverse Repository. [30]	26
Abbildung 17: Wie STL Datei funktioniert. [31]	28
Abbildung 18: Export der STL Datei in verschiedenen Software. [32]	28
Abbildung 19: Dickenanalyse (1 Millimeter) mit Meshmixer analysiert. [33]	30
Abbildung 20: Winkelanalyse. [34]	31
Abbildung 21: Unterstützungsstrukturen. [35]	31
Abbildung 22: Unterschiedliche Arten von Stützkonstruktionen. [36]	32
Abbildung 23: Unterschiede zwischen einem Teil mit optimierten Strützstrukturen (links) und e	einem
nicht optimierten Teil (rechts). Unterschiede zwischen den Druckzeiten sind ebenfalls ersichtlic	ch zu
sehen. [37]	33
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38]	33 33
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39]	33 33 34
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40]	33 33 34 35
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41]	33 33 34 35 36
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42]	33 33 34 35 36 37
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43]	33 33 34 35 36 37 37
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44]	33 33 34 35 36 37 37 38
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45]	33 34 35 36 37 37 38 38
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45]	33 34 35 36 37 37 38 38 39
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45] Abbildung 32: Entnahme. [46] Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47]	33 34 35 36 37 37 38 38 38 39 40
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45] Abbildung 32: Entnahme. [46] Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 40
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45] Abbildung 32: Entnahme. [46] Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47] Abbildung 34: SLS-Extraktionsverfahren. [48]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 40 41
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45] Abbildung 32: Entnahme. [46] Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47] Abbildung 34: SLS-Extraktionsverfahren. [48] Abbildung 35: Nachbearbeitungsprozess. [49] Abbildung 36: Mechanisches Verfahren. [50]	33 34 35 36 37 37 38 38 38 39 40 40 41 41
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 40 41 41 42
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 38 39 40 41 41 41 42 42
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45] Abbildung 32: Entnahme. [46] Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47] Abbildung 34: SLS-Extraktionsverfahren. [48] Abbildung 35: Nachbearbeitungsprozess. [49] Abbildung 37: Bad zum Entfernen der Stützstrukturen. [51] Abbildung 38: Verschiedene Veredelungen. [52] Abbildung 39: Verfahren zur Entwicklung eines 3D-Modells. [54]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 41 41 41 42 42 42
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 40 41 41 41 42 42 42 42
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 38 38 39 40 41 41 41 42 42 42 42 42 42
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 38 39 40 41 41 41 41 42 42 42 42 42 42 42
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 40 41 41 41 42
sehen. [37] Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38] Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40] Abbildung 27: Zugbelastung. [41] Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42] Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44] Abbildung 31: Ebenen und Pfad. [45] Abbildung 32: Entnahme. [46] Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47] Abbildung 34: SLS-Extraktionsverfahren. [48] Abbildung 35: Nachbearbeitungsprozess. [49] Abbildung 36: Mechanisches Verfahren. [50] Abbildung 37: Bad zum Entfernen der Stützstrukturen. [51] Abbildung 39: Verfahren zur Entwicklung eines 3D-Modells. [54] Abbildung 40: Reparieren einer STL-Datei. [58] Abbildung 41: Netfabb Premium Interface. [59] Abbildung 42: Öffnen einer 3D-Konstruktion mit Slic3r. [60] Abbildung 43: G-Code mit Slic3r. [61] Abbildung 44: Diagramm 3D-Druck-Workflow. [62]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 41 41 41 41 42
sehen. [37]	33 34 35 36 37 37 38 38 39 40 40 41 41 41 41 42

EBD+VET ERASMUS+ 3D PRINTING VET CENTRES

Abbildung 45: Verwendete 3D-Druck Materialien (%). [65]53
Abbildung 46: 3D-Drucker Filament Trends: November 2017. [68]
Abbildung 47: Legosteine aus ABS. [69]
Abbildung 48: Polyamid. Ein starkes und flexibles Material mit einem hohen Detaillierungsgrad. [70]
Abbildung 49: FDM-gedrucktes Puzzlestück mit entfernter Unterstützung, die Oberflächenrauheit
zeigt. [73]
Abbildung 50: Die Variation des Slicer-Programms gegenüber dem tatsächlichen Durchmesser der
vertikalen Löcher ist auf die Kompression des extrudierten Profils zurückzuführen. [74]63
Abbildung 51: Der Effekt des zunehmenden Überhangs (in Schritten von 5 Grad) auf die
Druckqualität. Max. Winkel ist 70 Grad. [75]64
Abbildung 52: Seitenansicht des Elefantenfußes, die auf den Basisschichten eines FDM-Drucks
auftreten kann. [76]
Abbildung 53: Druck von vertikalen Stiften mit abnehmendem Durchmesser (von 25 bis 5 mm), der
den oberen Durchmesser des Druckes zeigt, der zu klein wird, um genau zu drucken. [77]67
Abbildung 54: Aufteilen eines Modells, um Support zu vermeiden. [78]68
Abbildung 55: Neuausrichtung der horizontalen Achsenlöcher kann die Unterstützung überflüssig
machen. [79]
Abbildung 56: Bau Richtung. [80]
Abbildung 57: Ebenen mit Radius. [81]
Abbildung 58: Digitales Modell, Ergebnis des 3D-Scannens. [83]71
Abbildung 59: Positionierung des Models im Meshmixer. [84]72
Abbildung 60: Allgemeine Analyse im Meshmixer. [85]73
Abbildung 61: Kiefer mit reparierten Löchern und Defekten. [86]
Abbildung 62: Geladenes Modell in Cura. [87]
Abbildung 63: Konfiguration und Parameter des Modells in Cura. [88]
Abbildung 64: Kiefer Drucktolge. [89]
Abbildung 65: Stück Extraktionsprozess. [90]
Abbildung 66: Stutzstrukturen und Zangen. [91]
Abbildung 67: Stutzstrukturen entfernen. [92]
Abbildung 68: Endergebnis. [93]

SCHEMA INDEX

Schema 1: Verfahren und Hei	stellur	gstechn	iken. [2	<u> </u>	 	
Schema 2: Produktionsprozes	se im 3	BD Druck	. [27]		 	
Schema 3: Production proces	s for 3I) nrintin	σ [53]			43
Schema S. Production proces	5 101 51	printin	8.[22]	•••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	 	

TABELLE INDEX

Tabelle 1: Software zum Entwerfen eines 3D-Modells. [55]	
Tabelle 2: Software zum Scannen eines 3D-Modells. [56]	
Tabelle 3: Software zum Testen, Orientieren und Reparieren eine	s 3D-Modells. [57]
Tabelle 4: : Vergleichstabelle. [72]	
0	



1. EINFÜHRUNG: ADDITIVE MANUFACTURING

1.1. Was ist Additive Manufacturing?

Additive Manufacturing oder allgemeiner 3D-Drucken ist ein Prozess, der ein physikalisches Objekt aus einem digitalen Design erstellt. Es gibt verschiedene 3D-Drucktechnologien und Materialien, mit denen gedruckt werden kann, aber alle basieren auf dem gleichen Prinzip: Ein digitales Modell wird durch Hinzufügen von Material Schicht für Schicht zu einem festen dreidimensionalen physischen Objekt. [1]

Es ist wichtig, von Anfang an darauf hinzuweisen, dass die additive Fertigung keine einzelne Technologie darstellt, sondern eine Reihe von Fertigungsprozessen, die sich sehr voneinander unterscheiden und drei gemeinsame Merkmale aufweisen:

- 1. Das Objekt besteht aus einem digitalen 3D-Modell.
- 2. Sie sind Herstellungsverfahren, die durch Hinzufügen von Material ein festes dreidimensionales Objekt konstruieren.
- 3. Das Objekt wird konstruiert, indem aufeinanderfolgende Materialschichten übereinandergelegt werden.

Sie werden Additive Verfahrensprozesse genannt, um sie von herkömmlichen Prozessen zu unterscheiden. Zusammen mit diesen sind sie Teil der für die Industrie verfügbaren Prozesse.



Schema 1: Verfahren und Herstellungstechniken. [2]



Einige der am häufigsten verwendeten additiven Fertigungstechnologien, die am besten für den Bildungsbereich geeignet sind, werden im folgenden Abschnitt dieses Leitfadens beschrieben. Diese Technologien sind:

- Fused Deposition Modeling (FDM)
- Stereolithographie (SLA) und
- Selektives Lasersintern (SLS)



Abbildung 1: FDM Drucker. [3]



Abbildung 2: SLA Drucker. [4]



Abbildung 3: SLS Drucker. [5]

1.2. Wie funktioniert 3D-Druck?

Alles beginnt damit, ein virtuelles Design des Objekts, das Sie erstellen möchten, zu erstellen oder zu erhalten. Dieses virtuelle Design kann in einer CAD-Datei (Computer Aided Design) unter Verwendung eines 3D-Modellierungsprogramms (zum Erstellen eines völlig neuen Objekts) oder unter Verwendung eines 3D-Scanners (zum Kopieren eines vorhandenen Objekts) erstellt werden. Ein 3D-Scanner erstellt eine digitale 3D-Kopie eines Objekts. Es gibt auch viele Online-Datei-Repertoires, in denen Sie vorhandene 3D-Dateien herunterladen können, die Ihnen den Einstieg erleichtern. Der 3D-Druckprozess verwandelt ein Objekt in viele winzig kleine Scheiben und baut es dann Stück für Stück von unten nach oben auf. Die Schichten bauen sich dann zu einem festen Objekt zusammen. [6]





Abbildung 4: 3D-Druckprozess. [7]

Der vollständige Prozess wird in Punkt 3 dieses Leitfadens erläutert.

Einige Vorteile der additiven Fertigung im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren:

- Weniger Schritte zwischen dem CAD-Modell und der Produktion des Teils.
- Im Allgemeinen wenig Personalbedarf aufgrund eines hohen Automatisierungsgrads.
- Eine große Anzahl von geometrischen Formen kann hergestellt werden, was zum Beispiel die Herstellung von Teilen ermöglicht, die topologisch optimiert sind, mit internen Kanälen usw.
- Hochgeschwindigkeitsfertigung für kleine, komplexe Teile.
- Im Allgemeinen weniger Materialverschwendung.
- Möglichkeit, beschädigte Teile von bestehenden Objekten abhängig vom Material des Teils zu rekonstruieren
- Keine speziellen Werkzeuge erforderlich.

1.3. Was ist Rapid Prototyping?

Rapid Prototyping ist ein automatisierter Prozess, der schnell physische Prototypen aus 3D-CAD-Dateien erstellt, die aus Oberflächengüte oder Volumenmodellen bestehen. Jeder Herstellungsprozess kann entweder als subtraktiv, formativ oder additiv klassifiziert werden. Ein Prozess fällt entweder vollständig in eine dieser Kategorien oder ist ein hybrider Prozess, der in mehr als einen Prozess fällt. Im Produktionsbereich wird die Produktivität erreicht,



indem ein Produkt schnell und kostengünstig vom Konzept zum Markt geführt wird. Die Rapid Prototyping-Technologie unterstützt diesen Prozess. [8]

Es ist wichtig, dass Rapid Prototyping nicht mit 3D-Druck oder additivem Fertigungsverfahren verwechselt wird, da die Konzepte oft ausgetauscht und falsch verwendet werden. Man kann sagen, dass die additive Fertigung eine der Technologien ist, mit denen wir ein Rapid-Prototyping-Produkt herstellen können.

Es ist wichtig zu betonen, dass jede Technologie und jeder Prozess einen gemeinsamen Ausgangspunkt haben: Computer Aided Design (CAD).

Hier einige der häufigsten Techniken für Rapid Prototyping:

- 3D-Scanner / Reverse Engineering
- Additive Fertigung
- CNC-Bearbeitung
- Vakuum-Schnellguss
- Prototypformen
- Sandguss
- Feinguss

Der Zweck des Rapid Prototyping ist es, die verschiedenen Designmerkmale, Ideen, Konzepte, Funktionalität, Ausgabe und Leistung zu testen.

2. TECHNOLOGIEN

Um die am besten geeigneten 3D-Drucktechnologien für Bildungszwecke zu identifizieren, wurde die folgende Tabelle (Abb. 6) entwickelt. Es stellt einen Vergleich zwischen insgesamt 7 Technologien vor, die derzeit den neuesten Trends zufolge am häufigsten verwendet werden. Die Analyse basierte auf 12 Parametern, die als die besten betrachtet werden, um einen vollständigen Überblick darüber zu erhalten, was 3D-Druck bietet. Besonderes Augenmerk wurde auf die Stärken und Schwächen der einzelnen Technologien gelegt, da sie wichtige Indikatoren für die Identifizierung darstellen.







Abbildung 5: Prototypen eines Skibrillenrahmens mit FDM-, SLA- und SLS-Technologie (von links nach rechts). [9]

Durch die im Bericht IO1 / A3: Identifizierung von 3D-Drucktechnologien für das Bildungswesen durchgeführte Studie identifizierte das Konsortium die drei Drucktechnologien, die nachstehend beschrieben werden, als die am besten empfohlenen für den Einsatz im Bildungsbereich. Hier werden neben dem Prozess, den Materialien und den Anwendungsbereichen auch die Stärken und Schwächen für jede einzelne beschrieben.



E3()+V	Έ	T
ERASMUS+ 3D Printing Vet centres			

Application Examples	Wind turbines, aircraft components	Small production batches and prototypes	Medical models of anatomic human parts	Medical stethoscopes	Lightweight components for aircraft	Bone tissue medical models	Pots and general home furniture	Lightweight components	Lost Wax Casting in Jewellery and Medical fields
Application Area	Aerospace, automotive, industrial, medical	Automotive, consumer products, aerospace	Aerospace, automotive, consumer goods	Medical devices, multimaterial prototypes	Dental products, mechanical components	Dental, medical implants, automotive	Architecture, mechanical structures	Aerospace	Prototypes for form, fit testing; Casting patterns
Pricing	€€	€€	£€€	EEE	££	EEE	ų	€€€	£€
Weaknesses	Low resolution	Needs post- processing	Only photopolymer materials	Only photopolymer materials; not durable	Price; needs post- processing	Limited set of metals	Fragile with limited mechanical properties	Limited fibre placement	Limited wax- like materials; requires support structure
Strengths	Durable; ideal for conceptual models	Resistant, durable, flexible	High res; complex geometries	More materials at the same time	Manufactures high density parts	Less thermal stress	No support structure; multicolour prints	Robust parts, no post- process needed	High resolution
Surface Finish	Fair	Fair	Very good	Good	Fair	Poor	Fair	Fair	Good
Accuracy	Fair	Good	Very good	Very good	Fair	Fair	Fair	Fair	Very good
Max Part Size (cm)	30x30x50	34x34x60	30x30x50	39x31x19	28x28x36	20x20x20	40x20x10	32x43x16	30x18x20
Speed	Fair	Fast	Fast	Fast	Fair	Fast	Fast	Fair	Slow
Complexity		:	:	:	:	:	•	:	:
Materials used	ABS Filaments, Polycarbonate, Resin, Nylon	Paper, plastic, metal, glass, ceramic, composites	Liquid photopolymer, composites	Metals, plastic, wax	Metals: copper, aluminium, tungsten etc.	Metals: cobalt, chrome, nickel	Ceramic, metals, plastic, sand, composite	Plastic, carbon composites, nylon	Wax
Process	Layers of melted plastic	Plastic powder melted by laser	Polymerization scanned by UV laser	Inkjet method with liquid photopolymers	Metal powder melted by laser	Melted powder selected by electron beam	Powder distributed by jetting machine	Double nozzle laying/melting method	Inkjet method with wax materials
TECHNOLOGIES	Fused Deposition Modeling (FDM)	Selective Laser Sintering (SLS)	Stereolithography (SLA)	Photopolymer Jetting (POLYJET)	Selective Laser Melting (SLM)	Electron Beam Melting (EBM)	Electron Binder Jetting (BJ)	Continuous Fibre Fabrication (CFF)	Material Jetting (MJ)

Abbildung 6: 3D Druck Technologien im Vergleich. [10]



2.1. FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

2.1.1. Prozess, Materialien, Anwendungsbereiche

Heimdrucker arbeiten typischerweise mit Kunststofffilamenten. Die Technologie dahinter wird oft als Fused Deposition Modeling (FDM) bezeichnet. Hierbei handelt es sich um eine 3D-Drucktechnologie, bei der ein thermoplastisches Polymer durch eine beheizte Düse extrudiert wird, die sich auf einer Bauplatte ablagert. FDM wird auch als eine Form der additiven Fertigung betrachtet, die gleichzeitig ein "Prozess des Verbindens von Materialien ist, um Objekte aus 3D-Modelldaten zu erstellen, üblicherweise Schicht für Schicht".

Die Erstellung eines 3D-gedruckten Objekts über FDM erfordert zunächst die Arbeit an einer STL-Datei (Stereolithographie-Dateiformat), die das Modell für den nächsten Bauprozess mathematisch schneidet und ausrichtet. Manchmal kann die Software automatisch Unterstützungsstrukturen für das Objekt generieren. Im Allgemeinen benötigt die Maschine sowohl Material für den Gegenstand als auch für den Träger. [11]

Der einfache Prozess beinhaltet einen Kunststofffaden, der durch eine Spule zu der Düse geführt wird, wo das Material verflüssigt und auf die Plattform "gezogen" wird. Sobald es die Bauplatte berührt, härtet das Filament aus, während es nach einer bestimmten Struktur allmählich abgelagert wird, um den endgültigen 3D-Druck zu erzeugen. Wenn eine Ebene gezeichnet wird, setzt sich die Plattform um eine Schichtdicke ab, sodass der Drucker mit der Verarbeitung der nächsten Ebene beginnen kann.



Abbildung 7: FDM Technologie. [12]



Es gibt viele verschiedene Materialien, die mit FDM verwendet werden können. In erster Linie sind sie in die Kategorien Industrie und Verbraucher unterteilt. Die am häufigsten verwendeten sind ABS (AcryInitril-Butadien-Styrol), PLA (Polyactic Acid) und Nylon (Polyamid), aber auch andere, exotische Materialarten können verwendet werden, etwa eine Materialmischung aus Kunststoff und Holz oder Kohlenstoff. [13]

Da diese Technologie einige sehr gute Vorteile bietet, wird FDM häufig im Bereich nicht funktionierender Prototypen eingesetzt, um Konzeptteile, Funktionsmodelle, Prototypen im Allgemeinen, Werkzeug- und Modellbau sowie Endanwendungen herzustellen. Genauer gesagt, kann FDM für die Produktion in kleinen Stückzahlen und Prototypen für Form-, Passform- und Funktionstests verwendet werden.

Gleichzeitig wird es am häufigsten in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt, um beispielsweise Windkraftanlagen zu produzieren. Anatomische Modelle für den medizinischen Gebrauch sind ebenfalls sehr geeignet, um mit dieser Technologie gebaut zu werden. Schließlich hat FDM langsam das schnelle Prototyping von biomedizinischen Mikrovorrichtungen ermöglicht, die beispielsweise täglich in Krankenhäusern verwendet werden und daher sehr fundamental sind, da sie sowohl billig als auch sehr sicher sind. [14]

Seit 2004 wird die FDM-Technologie in einem bestimmten Bereich zur Herstellung von tragenden Gerüsten verwendet, die laut einer Studie "das Potenzial für die Reparatur von osteochondrale Defekten aufweisen". [15]

2.1.2. Stärken und Schwächen

Wenn es um 3D-Drucktechnologie geht, stellen die Kosten eines der ersten Probleme dar. Während es im Allgemeinen die langfristige Verwendung von Materialien ist, die zu einem ernsthaften Kostenfaktor werden können, haben diejenigen, die sich mit Fused Deposition Modeling beschäftigen wollen, von Anfang an einen Vorteil; Tatsächlich gehören FDM-Druckmaschinen zu den billigsten und erschwinglichsten, insbesondere für diejenigen, die sie in einer häuslichen Umgebung verwenden möchten. Viele Marken sind heute bereits vorgefertigt wie Maker Bot und Ultimaker, zwei der beliebtesten Desktop-3D-Drucker, oder können mit DIY-Kits gebaut werden.

Immer positiv: FDM wird als eine sehr saubere Technologie angesehen, die in der Regel benutzerfreundlich und bürotauglich am besten ist. Die Technologie kann auch komplexe Geometrien und Hohlräume erzeugen, die ansonsten ziemlich problematisch wären. [16]



Hinsichtlich der Genauigkeit erreichen die 3D-Drucke nicht die gleiche Genauigkeit und Qualität wie bei anderen Objekten, die stattdessen durch die Stereolithographie erzeugt werden. Das Ergebnis wird jedoch als ziemlich hochwertig betrachtet, abhängig von dem Sektor, in dem die Technologie angewendet wird. Die Auflösung hängt hauptsächlich von der Größe der verwendeten Düse ab. Die Genauigkeit der Maschine hängt von den Bewegungen des Extruders auf der X- und Y-Achse ab, aber es gibt noch andere Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Zum Beispiel ist die Bindungskraft zwischen den Schichten geringer als im Stereolithographie-Prozess. Folglich kann das Gewicht der Schichten die unteren Schichten quetschen, was die Qualität des 3D-Drucks beeinflussen und sogar beeinträchtigen kann.

Im Gegensatz zu SLA weist FDM auch eine erhöhte Komplexität auf. Man muss Gewicht und Größe, aber auch Einschränkungen berücksichtigen. Es ist sehr wichtig, dass ein Druck die Erwartungen erfüllt, die man beim ersten Modellieren auf dem Bildschirm sieht. Die Einschränkungen hängen in diesem Fall von mehreren Faktoren ab, aber hauptsächlich von dem gewählten Material, durch das es möglich ist zu verstehen, wie groß ein Artikel über FDM gedruckt werden kann. [17]

Eine weitere negative Seite von FDM ist, dass es im Vergleich zu sowohl der Stereolithographie als auch des selektiven Lasersinterns, das als nächstes analysiert werden soll, im Allgemeinen langsamer ist. Darüber hinaus wird das Oberflächenfinish als gerecht angesehen, aber nicht auf dem gleichen Niveau wie diese anderen beiden Technologien. Tatsächlich muss beim Drucken mit FDM damit gerechnet werden, dass ein gedrucktes Objekt Nachbearbeitung und Fertigstellung erfordert.







Choose FDM When You Need...

- > High accuracy
- Functional parts
- > Durable parts with high stability
- Production-grade materials
- Fast lead times

Technical Specifications for FDM

Standard lead time	Minimum of 4 working days (or 48 hours for models using the Fast Lanes service), depending on part size, number of components and finishing degrees
Standard accuracy	± 0.15% (with lower limit on ± 0.2 mm)
Minimum wall thickness	1 mm
Layer thickness	0.18 – 0.25 mm (varies depending on the chosen material)
Maximum part dimensions	Dimensions are unlimited as components may be composed of several sub-parts. The maximum build envelope is 914 x 610 x 914 mm
Surface structure	Unfinished parts typically have a rough surface but all kinds of fine finishes are possible. FDM parts can be sandblasted, smoothed, colored/impregnated, painted and coated

Abbildung 8: FDM Vorteile. [18]

2.2. SELEKTIVES LASERSINTERING (SLS)

2.2.1. Prozesse, Materialien, Anwendungsbereiche

Selektives Lasersintern (SLS) ist eine Technik, die Laser als Energiequelle verwendet, um solide 3D-Objekte zu bilden. Diese Technik wurde von Carl Deckard, einem Studenten der Texas University, und seinem Professor Joe Beaman in den 1980er Jahren entwickelt. Später nahmen sie an der Gründung der Desk Top Manufacturing (DTM) Corp. teil, die 2001 an ihren großen Konkurrenten 3D Systems verkauft wurde. SLS ist in gewisser Weise dem Selektiven Lasersintern sehr ähnlich. Der Hauptunterschied zwischen SLS und SLA besteht darin, dass pulverförmiges Material in der Wanne anstelle von flüssigem Harz verwendet wird.

Anders als bei der Stereolithographie und der Fused Deposition Modeling-Technologie erfordert das selektive Lasersintern keine Stützstrukturen, wodurch die Menge an Materialien reduziert wird, die für den Druck benötigt wird. Das Objekt wird tatsächlich gedruckt, während es ständig von nicht gesintertem Pulver umgeben ist.



Das bloße Verfahren beinhaltet einen Laser, der verwendet wird, um selektiv eine Granulat Schicht zu sintern und folglich das Material zu einer festen Form zu verbinden. Am Ende des Prozesses kann das Objekt sehr heiß werden und daher sollte man es abkühlen lassen bevor es aus der Maschine entfernt wird.



Abbildung 9: SLS Technologie. [19]

Die Verwendung der SLS-Technologie ermöglicht die Verwendung einer Vielzahl von Materialien, die von Nylon, Glas und Keramik bis zu Aluminium, Silber und sogar Stahl reichen. Einige von ihnen, wie Keramik, sind jedoch nicht lasergesintert. Ein Bindemittel wird in diesem Fall verwendet, um Teile aneinander zu kleben, und dies wird üblicherweise als "3D-Druck auf Pulver- und Bindemittelbasis" bezeichnet.

Der Startprozess dieser Technologie ist dem Laser-Sintern sehr ähnlich: Eine Walze bringt eine dünne Schicht Pulver auf eine Plattform. Anstelle eines Laserstrahls platziert ein spezieller Druckkopf ein Bindemittel an bestimmten Punkten und druckt eine dünne Schicht des Modells, die an nachfolgende Schichten binden kann. Dieser Prozess wird dann immer wieder wiederholt, bis das Modell vollständig ist.

Da in diesem Fall das Modell nur zusammen "geklebt" wurde, ist viel Nachbearbeitung notwendig. Die genauen Nachbearbeitungsschritte hängen stark vom Material ab: Mehrfarbenmodelle erhalten ein Bad in Sekundenkleber, keramische Drucke werden in einen Trockenofen gelegt und mehrmals gebrannt, hochdetaillierte Edelstahl- und Stahlgegenstände werden zum Schmelzen in einen Ofen gelegt. Stahlmodelle sind zusätzlich mit Bronze für zusätzliche Stärke infundiert. [20]



Anwendungsgebiete der SLS-Technologie reichen vom Automobilsektor bis zum Konsumgütersektor. Genauer gesagt kann es im Fall von Produktentwicklung und Rapid-Prototyping in einer breiten Palette kommerzieller Industrien sowie bei der Herstellung von Endnutzerteilen in limitierter Auflage verwendet werden. In der Luftfahrtindustrie beispielsweise ist SLS an der Entwicklung von Prototypen für Flugzeugkomponenten beteiligt. Dies ist ein großer Vorteil für Unternehmen, da Flugzeuge in kleinen Stückzahlen produziert werden und von Fluggesellschaften lange Zeit genutzt werden. Für Produktionsunternehmen ist es nicht wirtschaftlich, physische Formen für Flugzeugteile zu bauen. Tatsächlich wären diese in der Herstellung zu teuer und müssten dann lange Zeit gelagert werden, ohne beschädigt zu werden. [21] Daher ist SLS perfekt für die Produktion in kleinen Serien.

Noch interessanter ist die Tatsache, dass SLS im Bereich der Konsumgüter, speziell für die

Produktion von Schuhen, langsam eingeführt wurde. Laut den Herstellern kann die Verwendung von Nylon, das von SLS gesintert wird, einen Schuh mit nicht nur reduziertem Gewicht, sondern auch Anpassungen ergeben, wobei der Schuh an die Bedürfnisse und Anforderungen des Kunden angepasst werden kann. [22]



Abbildung 10: Schuh Silhouette mit SLS erstellt. [23]

Der Erfolg mit Titan wäre ein Beispiel für große Zukunftschancen in der Militär-, Luftfahrt-, Medizin- und anderen Industrien, die das geringe Gewicht, die Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit von Titan nutzen möchten. Viele der bahnbrechenden Aktivitäten im 3D-Druck haben Kunststoffe eingesetzt, und der Übergang von Kunststoffen zu Metallen aller Art ist der nächste Schritt.

2.2.2. Stärken und Schwächen

Eines der allerersten Vorteile, die das Selektive Lasersintern bietet, ist die Tatsache, dass es keine Stützstrukturen benötigt, da es vollständig selbsttragend ist. Es ermöglicht daher, Teile in anderen Teilen in einem Prozess namens Verschachtelung zu bauen. Dies hat zwei Hauptergebnisse; der erste ist, dass es die Kosten des Materials reduziert, das für die Stützstrukturen verwendet werden würde, die in der FDM-Technologie stark verwendet werden. Der zweite Vorteil in diesem Fall ist, dass SLS mit einer hohen Komplexität der



Geometrie umgehen kann. Einige Produkte sind so komplex, dass es ohne diese Technologie schwierig wäre, sie herzustellen.

Im Allgemeinen gilt SLS als die 3D-Drucktechnologie mit dem schnellsten additiven Fertigungsverfahren für den Druck funktionaler, langlebiger Prototypen und Endnutzerteile. Die Haltbarkeit wird darüber hinaus durch die Verwendung von starken Materialien wie Nylon unterstützt, was auch eine gewisse Freiheit in der Funktionalität des endgültigen 3D-Drucks ermöglicht. Dank seiner ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften ist das Material, das in SLS verwendet wird, oft ein Ersatz für typische Spritzgusskunststoffe.

Gleichzeitig produziert SLS Teile, die in der Regel als sehr stark und steif mit guter chemischer Beständigkeit gelten. Komplexe Teile mit inneren Komponenten, Kanälen, können gebaut werden, ohne das Material im Inneren zu erfassen und die Oberfläche von der Entfernung des Trägers zu verändern.

Genauigkeit ist ein weiterer wichtiger Vorteil der SLS-Technologie. Endgültige 3D-Ausdrucke weisen normalerweise eine hohe Genauigkeit auf. Der erforderliche Prozess ist im Vergleich zu den bereits analysierten Technologien ebenfalls schnell. Gleichzeitig ermöglicht die Skalierbarkeit die Verwendung von SLS für ein einzelnes Bauteil, aber auch für Dutzende von Produktionsstücken. Teile können normalerweise zwischen 1 und 4 Tagen versandt werden, was für Unternehmen, die schnell auf dem Markt sein müssen, ein großer Vorteil ist.

Normalerweise weisen SLS-Drucke jedoch eine gewisse Oberflächenporosität auf, weshalb, genau wie beim Fused Deposition Modeling, eine Nachbearbeitung unbedingt erforderlich ist.

2.3. STEREOLITHOGRAPHIE (SLA)

2.3.1. Prozess, Materialien, Anwendungsbereiche

Stereolithographie (SLA) ist ein lichtbasierter Prozess, der einzelne Schichten eines Modells mit flüssigem Polymer, das durch einen Laserstrahl gehärtet wird, aufbaut. Es ist die älteste Technologie in der Geschichte des 3D-Drucks, aber sie wird immer noch sehr häufig verwendet.

Das Verfahren beinhaltet die Verwendung einer Druckmaschine, die "Stereolithograph-Vorrichtung" genannt wird, die flüssigen Kunststoff in feste 3D-Objekte umwandelt. Der Laser wird von zwei Galvanometern gesteuert und kontrolliert. Nach jeder Schicht schält sich der Harzbehälter ab, um das gehärtete Material freizusetzen. Die Bauplattform bewegt sich dann abhängig von der gewählten Schichthöhe von 25 bis 200 Mikrometer, um den Prozess des



Erstarrens der nächsten Schicht vorzubereiten. Das Teil scheint auf den Kopf gestellt zu sein,

was inverse Stereolithographie genannt wird.



Abbildung 11: Harz 3D Drucker Teilübersicht. [24]

Wenn es um Materialien geht, bietet die Stereolithographie eine Vielzahl von Möglichkeiten, die in drei Kategorien zusammengefasst werden können. Innerhalb der ersten kann überstreichbares Harz verwendet werden. In diesem Fall findet der Prozess in einem großen Tank statt und beginnt, wenn eine Schicht aus flüssigem Polymer über eine Plattform verteilt wird. Ein computergesteuerter Laser zieht die erste Schicht auf die Oberfläche eines flüssigen Polymers, das aushärtet. Wenn das Modell dann abgesenkt wird, wird die nächste Ebene direkt über die vorherige Ebene gezeichnet und wiederholt, bis das Modell fertig ist. Wenn das Modell fertig ist, wird es aus dem Tank gehoben und die überschüssige Flüssigkeit fließt ab. Die Stützen werden manuell entfernt, nachdem das Modell aus der Maschine genommen wurde.

Transparentes Harz und Primärgrau sind zwei andere Arten von Harzmaterialien, die ebenfalls verwendet werden können. Von einem einfachen Vergrößerungsglas über Wellenleiter bis hin zu einem Durchsichtmechanismus oder praktisch unbegrenzten dekorativen Objekten kann transparentes Harz erstaunliche Ergebnisse liefern. Genau wie bei lichtdurchlässigen Kunstharzen, wenn man seinem Projekt, das mit diesem Material bedruckt ist, ein paar Lichter hinzufügt, wird man definitiv die Aufmerksamkeit der Leute auf sich ziehen.



Dieses Material kann vor dem Drucken mit Pigmenten gemischt werden, was zu einem attraktiv aussehenden transparenten Farbobjekt führt. Die Transparenz variiert von durchscheinend bis wasserklar. Die wasserklare Transparenz kann in Sonderfällen und auf Anfrage erreicht werden. Transparentes Harz hat eine hervorragende Oberflächenqualität. Die Oberfläche ist glatt und das Treppenstufen-Aussehen des 3D-Drucks kann durch Schmirgeln reduziert werden. Transparente Harzmodelle sind mit einem glänzenden Lack versehen, um Verfärbungen durch UV-Licht zu vermeiden.

Die natürliche Oberfläche des transparenten Harzmodells ist als Basislack bekannt. Modelle auf Harzbasis sind immer glatter als Modelle auf Pulverbasis. Die Technologie, die für das transparente Harzmodell verwendet wird, erfordert zusätzliches Material, um das Modell während des Druckvorgangs zu stützen. Diese werden jedoch entfernt, bevor das Modell ausgehärtet ist.

Die Oberfläche des 3D-gedruckten Modells ist durch das Material und die Technologie definiert. Wenn der Druck fertiggestellt ist, werden einige Aufbauebenen noch sichtbar sein. Die natürliche Oberflächenoption ist immer die günstigste. Die Anzahl der Nachbearbeitungsschritte bestimmt auch die Kosten und die Qualität des Harzmodells.

Das Material ist transparent, aber nicht 100% wasserklar. Wenn ein Modell mit einer Dicke von mehr als 2 cm fest ist, weist das gedruckte Teil einen bläulichen Farbton auf. Für das transparente Finish ist das Modell mit farblosem Lack lackiert. Bei transparenten Farbausführungen wird dem Lack Pigment hinzugefügt.

Grey Resin, früher bekannt als Prime Grey, eignet sich für visuelle Modelle mit A-Seite und eingeschränkter Funktionalität. Die Oberfläche des Materials ist sehr glatt, viel glatter als fast alle anderen 3D-Druckmaterialien. Die Farbe ist Air Force Grey und das Material fühlt sich fast "luxuriös" an. Das Material hat eine mittlere mechanische Beständigkeit. Die Freiheit des Designs ist aufgrund der Struktur begrenzt, die notwendig ist, um die Modelle während des Druckens zu stützen.

Modelle aus Grey Resin werden typischerweise als hochwertige Showmodelle verwendet. Design- und Konstruktionsabteilungen verwenden die Modelle als visuelle Prototypen oder für Präsentationen, aber wir haben festgestellt, dass sie wirklich gut für Charakter- und Spielzeugmodelle funktionieren.

Der Unterschied zwischen transparentem Harz und Prime Grey bleibt in dem Ergebnis, das man erreichen möchte. Zum Beispiel ist Prime Grey ausgezeichnet, wenn es um seine



Schlagzähigkeit und die Genauigkeit im Detail geht. Gleichzeitig ermöglicht das überstreichbare Harz die Auswahl einer Farbe nach seiner Wahl, benötigt jedoch immer noch eine Stützstruktur, wodurch die Gestaltungsfreiheit eingeschränkt wird. Dies kann vermieden werden, indem man Prime Grey verwendet. Eine Übersichtstabelle für alle drei Arten von Harzen ist im Folgenden verfügbar.

						1				
Name	Impact strength	Stiffness	Humidity resistance	Heat resistance	Durability	Appearance	Mould Making	Details	Description	Applications
Transparent resin	Good	Good	Excellent	Sensitive	Good	Optical clear with a light blue tinge	Excellent	Moderate	Tough Impact resistant High elongation at break Excellent surface quality	Functional prototypes Wind tunnel testing Water flow analysis High-end finished models ABS-like parts
Paintable resin	Good	Good	Good	Good	Good	White	Excellent	Good	Tough Good surface quality Good thermal properties Durable	Impellers Duct work and connectors Automotive housings Dashboard assemblies High-end finished models
Prime Gray	Excellent	Good	Good	Good	Good	Gray	Good	Excellent	Tough Impact resistant High elongation at break Excellent surface quality	Tough enclosures Snap-fit assemblies Replacing CNC machined parts High-end finished models

Abbildung 12: Harz Eigenschaften. [25]

Stereolithographie kann in vielen Bereichen verwendet werden. Heutzutage sind die Automobil-, Luftfahrt-, Medizin- und Konsumgüterbereiche die beliebtesten. Es kann in der Tat in häuslichen Bereich angewendet werden: Man kann leicht 3D-Drucke machen, ausgehend von ihrem eigenen Modell. Gleichzeitig ermöglicht diese Technologie, medizinische Modelle anatomischer menschlicher Teile zu drucken, die beispielsweise im Unterricht sehr nützlich sein können, um einer Gruppe von Gelehrten einen korrekten Überblick über die Funktionsweise des menschlichen Körpers zu geben. Es verändert somit die Art und Weise, in der Fächer unterrichtet werden, und es kann in technischen Fächern wie Naturwissenschaften, Ingenieurwesen, aber auch Kunst und Mathematik angewendet werden.

2.3.2. Stärken und Schwächen

Unter allen 3D-Drucktechnologien gehört die Stereolithographie zu den besten. Ihre Stärke beruht hauptsächlich auf der hohen Auflösung der 3D-Drucke. Sie erlaubt, Objekte mit sehr komplexen Geometrien zu drucken und gleichzeitig die Qualität und die Details zu bewahren. Tatsächlich wird die Genauigkeit in diesem Fall als sehr gut bewertet. SLA wird oft dort eingesetzt, wo Form, Passform und Montage entscheidend sind, es dreht sich alles um Präzision. Dies liegt vor allem an der Verwendung des Harzes, insbesondere der sogenannten Photopolymer-Materialien.



Letztere sind tatsächlich flüssige Materialien, die aushärten; Sie ermöglichen eine gewisse Freiheit in Bezug auf Farben, Opazität und Steifigkeit und bieten gleichzeitig eine hervorragende Oberflächenqualität. Obwohl es schnellere und neuere Technologien gibt, kann die Stereolithographie in einem vernünftigen Zeitraum korrekt arbeiten und gleichzeitig Zeit auf hochpräzisen Teilen sparen. Auf diese Weise können Prototypen, die für die Stereolithographie allgemein verwendet werden, leicht und genau zu dem ursprünglichen Entwurf gemacht werden. Komplexität ist daher kein Problem.

Darüber hinaus ist die positive Seite der Verwendung von Stereolithographie und Harzen Material Anpassung, vor allem in Form und Farbe. Sprühdruck ist in diesem Fall eine der Methoden, um dieses Ergebnis zu erreichen. Vier Arten von Farben stehen zur Verfügung: tote matt, matt, seidenmatt und hochglänzend, jeweils mit einem anderen Glanzfaktor. Je höher der Glanzfaktor, desto glänzender wird das Modell. Farbe, die auf größere Flächen gesprüht wird, weist größere visuelle Unterschiede zwischen den verschiedenen Farboptionen auf. Wir können Ihr Modell sprühen, um es Ihren Bedürfnissen anzupassen, oder Sie können es auch selbst zu Hause machen.

Die Kosten sind jedoch eine der Hauptschwächen bei der Stereolithographie. Während 3D-Druckmaschinen mehr oder weniger erschwinglich sein können, können Photopolymere Materialien sehr teuer sein, was den gewöhnlichen Gebrauch dieser Technologie nicht für jedermann erschwinglich macht. Abgesehen davon, dass sie in verschiedenen Farben erhältlich sind, gibt es immer noch eine begrenzte Auswahl an Photopolymeren.

Nachteile, wenn es um Stereolithographie geht, beinhalten auch die Tatsache, dass flüssige Harze im Allgemeinen irritierend und giftig sind, deshalb sind einige Vorkehrungen zu treffen, um mit den geeigneten Werkzeugen und Geräten zu arbeiten. Darüber hinaus erfordern Ausdrucke in der Regel eine Reinigung, die in manchen Fällen Zeit und viel Mühe in Anspruch nehmen kann. Nachbearbeitung wird in der Regel benötigt, wenn man die höchstmögliche Qualität erreichen will. Es hängt auch von dem gewählten Material ab, ob mehr oder weniger Nachbearbeitungsschritte benötigt werden.





Nicht zu vergessen ist die Tatsache, dass die Stereolithographie im Gegensatz zu selektivem Lasersintern, Stützstrukturen benötigt. Dies erhöht den Preis, da mehr Material benötigt wird. Die Unterscheidung und die konsequente Wahl zwischen diesen beiden Technologien hängt hauptsächlich davon ab, welches Material und welches Ergebnis man erreichen möchte.



Abbildung 13: Photometrische 3D-Drucke. [26]

3. PRODUKTIONSPROZESS IM 3D-DRUCK

Im Folgenden werden in diesem Kapitel alle notwendigen Prozesse und Schritte beschrieben, beginnend mit einem digitalen Entwurf, um ein echtes gedrucktes Stück zu erhalten.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass es nicht nur einen einzigen gültigen Prozess zum Drucken von dreidimensionalen Teilen gibt. In diesem Handbuch wird eine bestimmte Anzahl von Schritten erläutert, die an die Art des Teils, die ausgewählte Technologie, den Maschinentyp und sogar an die verwendete Software angepasst werden sollten. Darüber hinaus ist der im Folgenden beschriebene Prozess hauptsächlich für FDM-3D-Drucker (fused deposition modeling) vorgesehen. Beim Produktionsprozess im Allgemeinen ist es wichtig zu erwähnen, dass die Tipps, die in jedem der Schritt des Prozesses gegeben werden, indikativ sind und einen allgemeinen Begriff haben. Dies bedeutet, dass die Schritte nicht sehr genau befolgt werden sollten. Im Produktionsprozess für den 3D-Druck haben Erfahrung, Teileeigenschaften, Gebrauchtmaschinen etc. eine starke Gewichtung. Es ist sicher, dass jemand mit wenig oder ohne Erfahrung 3D viele Teile mit Fehlern druckt, bevor er den Schlüssel findet.







Schema 2: Produktionsprozesse im 3D Druck. [27]

3.1. Erhalten des Digitalen Modells

Es gibt mehrere Möglichkeiten, das 3D-Modell oder Digitalmodell zu erhalten, das gedruckt werden soll. Insbesondere gibt es drei Möglichkeiten:

 Das Stück unter Verwendung einer CAD-Software modellieren: Um diese dreidimensionale Option zu erhalten, muss eine CAD-Software (Computer Aided Design) verwendet werden. Es gibt eine Menge verfügbarer CAD-Software für die Modellierung, und es hängt vom Benutzer und seinen Fähigkeiten mit der Software ab die beste Option zu finden.





Abbildung 14: Teil modelliert mit Rhinoceros. [28]

Die Geometrie durch Reverse Engineering und 3D-Scanner erhalten: Mit dieser Option wird ein 3D-Scanner verwendet, um die Geometrie eines realen Objekts digital zu erhalten. Dies ist kein einfacher Prozess und einige Fähigkeiten und Erfahrungen sind erforderlich. Darüber hinaus gibt es mehrere Arten von 3D-Scannern, welche in der Regel teuer sind. Der Reverse-Engineering-Prozess dient zum Kopieren, Verbessern oder Anpassen von realen Objekten aber auch zum Einbeziehen komplexer Oberflächen in ein 3D-Modellstück.

Der Prozess ist normalerweise folgender: Zuerst wird die Geometrie von einem 3D-Scanner erfasst. Diese wird behandelt oder modifiziert, so dass sie für den 3D-Druck geeignet ist. Das heißt, wenn eine Punktwolke von der 3D-Abtastung erhalten wird, muss diese Wolke "genäht" und in ein polygonales Netz umgewandelt werden (manchmal wird dies von der 3D-Scanner-Software ausgeführt) und schließlich zu einem festen Körper exportiert (konvertiert). Schließlich wird der Prozess des 3D-Drucks implementiert.



Abbildung 15: Reverse- Engineering-Prozess. [29]

 Laden des Modells aus einem Repository oder bitten Sie jemanden, es für Sie zu entwerfen: Wenn Sie keine Kenntnisse im computergestützten 3D-Design haben oder nicht über die notwendige Ausrüstung (Software, Scanner) oder sogar Wissen verfügen, um das Modell aus einem Repositorys herunterzuladen bitten Sie jemanden es für Sie zu entwerfen. Je nachdem, ob das Repository ein 3D-Druckmodell-Repository (z. B. Thingiverse) oder ein allgemeineres digitales Modell-Repository (z. B. GrabCAD) ist, ist das heruntergeladene Modell für 3D-Druck bereit oder muss noch bearbeitet werden.



Abbildung 16: Beispiele von Teilen aus dem Thingiverse Repository. [30]

Unabhängig davon, wie das digitale Modell erstellt wird, ist es wichtig, ein robustes 3D-Modell zu erhalten, das für den 3D-Druck gedacht ist. Das bedeutet, dass jedes entworfene und modellierte, gescannte oder heruntergeladenes Stück aus dem Internet, nicht geeignet sein könnte, um 3D gedruckt zu werden. Es kann sein, dass einige Probleme wie interne Lücken,



die Präzision, die erreicht werden soll, die Detailstufe, die Größe des Stücks, wenn das Stück Überhänge hat etc. berücksichtigt werden sollte.

Im folgenden Tutorial wird eine Reihe von CAD-Design-Tipps für den 3D-Druck gezeigt, abhängig vom gewählten Material:

https://www.sculpteo.com/en/materials/materials-design-guidelines/

Unter dem nächsten Link finden Sie weitere Informationen und Tutorials zum Modellieren und Vorbereiten eines Stücks für den 3D-Druck mit verschiedenen CAD-Software:

https://www.sculpteo.com/en/tutorial/

3.2. Exportieren and Reparieren der STL Datei

Wenn Sie mit dem Entwerfen und Drucken von 3D-Modellen arbeiten, steht eine Vielzahl von Formaten oder Dateitypen zur Verfügung. Einige von ihnen sind zum Entwerfen oder Scannen gedacht, aber andere sind mit dem 3D-Drucken verbunden, wie zum Beispiel: STL, OBJ, PLY oder FBX. Abhängig von dem modellierten Teil, der Software, den 3D-Druckerfunktionen usw. muss das eine oder andere Format verwendet werden. In diesem Handbuch wird erläutert, wie die STL-Datei exportiert und verwendet wird, um die Kriterien zu vereinheitlichen.

Wenn das Stück entworfen und modelliert wird, wird eine Formatkonvertierung in die ".stl" -Datei benötigt. Wenn das Stück aus einem Repository heruntergeladen wurde, ist diese Konvertierung häufig bereits durchgeführt worden. Wenn jedoch freie oder kommerzielle CAD-Software verwendet wurden, ist diese Konvertierung erforderlich.

Was ist STL-Format und wie es funktioniert, wird hier kurz erklärt:

STL steht für "Standard Triangle Language". In einfachen Worten verwendet dieses Format verknüpfte Dreiecke zum erneuten Erstellen der Volumenmodelloberfläche. Abhängig von der Modellkomplexität sind mehr oder weniger Dreiecke (und mit mehr oder weniger Größe) erforderlich, um sie neu zu erstellen. Je mehr Dreiecke desto größer ist die Datei. In der Datei wird jedes Dreieck durch eine Reihe von Parametern definiert, wie zum Beispiel den Normalenvektor zur Dreiecksfläche und die Koordinaten (x, y, z) jedes Dreiecks.





Abbildung 17: Wie STL Datei funktioniert. [31]

Normalerweise ist das Exportieren eines CAD-Designs in das STL-Format so einfach, wie in das Menü der verwendeten Software zu gelangen und auf "Speichern unter ..." oder "Exportieren" zu klicken und STL zu wählen. Je nach Software müssen auch einige Eigenschaften wie Präzision oder Toleranz gewählt werden. Im Folgenden werden die Schritte in einigen CAD Programmen gezeigt:

Software used	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
Catia	1. Select STL Command	2. Maximum Sag = .0003" or .0125 mm	3. Select part(s) to be converted and Click YES	4. Select Export	5. Type filename and output the STL
Inventor	1. Select: Save Copy As	2. Select: STL	3. Select Options Menu: Set To High	4. Enter Filename	5. Save
ProEngineer	1. File / Export / Model	2. Choose STL	3. Chord Height: .0005" or .0125 mm	4. Angle Control: .5	5. Click: APPLY
Rhino	1. FILE / SAVE AS	2. Select File Type: STL	3. Enter a File Name and Save	4. Select Binary File	
SolidEdge	1. FILE / SAVE AS	2. Set Save as Type: STL then select Options	3. Set: Conversion Tolerance: .0005" or .0125mm	4. Set Surface Plane to: 45.00 (degrees)	5. Save
SolidWorks	1. FILE / SAVE AS	2. SAVE AS TYPE / Select: STL	3. Select:Options	4. Deviation Tolerance: .0004" and Angle Tolerance: 7.75 deg	5. Save
Unigraphics	1. FILE / EXPORT / Rapid Prototyping	2. Triangle Tolerance: .0005" or .0125 mm	3. Adjacency Tolerance: 0.12	4. Click: APPLY	5. Set Auto Normal Gen to: ON, Normal Display to: OFF, Triangle Display to: ON

Abbildung 18: Export der STL Datei in verschiedenen Software. [32]

Manchmal gibt es Probleme bei der Konvertierung zu STL, entweder weil das Modell nicht für 3D-Druck geeignet ist, weil das Design in der CAD-Software nicht korrekt erstellt wurde, oder weil es andere Ursachen hat. Das exportierte Modell kann einige Fehler enthalten. Diese Fehler können von verschiedener Art sein: Löcher oder Lücken, umgekehrte Dreiecke (dh mit den normalen Vektoren in der entgegengesetzten Richtung), duplizierte Flächen oder



Dreiecke, Flächen oder Dreiecke, die sich schneiden, einzelne Punkte oder Flächen (außerhalb des Modells) usw.

Die digitale Modellreparatur wird im nächsten Schritt des Produktionsprozesses im 3D-Druck erklärt, da sie sehr eng mit der Umsetzung der Analyse in die Teile verbunden ist.

3.3. Testen, orientieren, verteilen und G-Code

Diese Phase des Produktionsprozesses im 3D-Druck betrifft die Vorbereitung der Teile oder digitalen Modelle (die zuvor in STL exportiert wurden) für den 3D-Druck. Es geht darum, den nächsten Prozess geordnet durchzuführen:

- Um das Stück oder Modell zu analysieren: Dicke, Löcher, Stabilität, Winkel, Dreiecksnetz usw.
- Die Unterstützungsstrukturen entwerfen oder automatisch generieren.
- Um die Füllung des Modells zu wählen, sowohl in Prozent als auch in Form.
- Um das Stück auf der Druckoberfläche (oder dem Druckbett) zu lokalisieren und die am besten geeignete Ausrichtung auszuwählen.
- Um den Maschinencode oder G-Code zu generieren.

3.3.1. Analysieren des Stücks oder Modells

Die Analyse ist normalerweise notwendig, wenn Teile relativ komplex sind, wenn die Herkunft der Teile nicht bekannt ist oder wenn man zu hundert Prozent sicher sein möchte, dass das Teil für den 3D-Druck geeignet ist. Außerdem kann eine gute Analyse Fehler im Dreiecksnetz erkennen, die aus der STL-Konvertierung resultieren.

Diese Analysen können durch einige Software implementiert werden, die auch für andere Zwecke nützlich sein kann. Implementierte Analyse von:

Dicke: Die empfohlene Stärke hängt von der 3D-Druckmaschine ab (und häufig von der verwendeten Technologie). Einige Maschinen erlauben eine größere Dicke als andere. Die spezifische Maschine im Internet zu suchen und die erlaubte zugehörige Dicke zu sehen sollte genug sein. Im Allgemeinen wird für FDM-Maschinen (Fused Deposition Modeling) ungefähr eine Dicke von ungefähr 1 mm berücksichtigt. Dieser Parameter darf nicht mit der Schichtdicke verwechselt werden. Der hier erwähnte Parameter ist



für die Dicke des Objekts selbst. Diese Analyse muss durchgeführt werden, wenn man davon ausgeht, dass das Modell sie benötigt.



Abbildung 19: Dickenanalyse (1 Millimeter) mit Meshmixer analysiert. [33]

Löcher oder Lücken: Das Modell, das gedruckt werden soll, muss perfekt geschlossen sein oder besser gesagt: es muss wasserdicht sein. Dies bedeutet, dass das Dreiecksnetz keine Löcher oder Lücken haben darf und es dürfen sich auch keine Eckpunkte oder Dreieckspunkte überschnitten haben. Jeder von ihnen muss mit anderen Dreiecken verbunden sein. Es wird dringend empfohlen, diesen Test immer vor dem Drucken durchzuführen, da Fehler oder Ausfälle nur schwer zu erkennen sind.
Winkel und Überhang: Durch diese Analyse kann je nach ausgewählter Technologie und Maschine festgestellt werden, ob das Modell Stützstrukturen für den Druck benötigt. Im Allgemeinen beträgt der minimal zulässige Neigungswinkel für FDM-Drucker 45 Grad. Teile mit größeren Winkeln erfordern Stützstrukturen. Diese Analyse wird manchmal nicht benötigt, da viele Vordruckprogramme direkt die benötigten

Stützen für die Teile berechnen.







Abbildung 20: Winkelanalyse. [34]

 Andere: Abhängig von der verwendeten Software können mehr oder weniger Analysen durchgeführt werden. Außerdem kann durch bestimmte Programme eine Standardanalyse durchgeführt werden, durch die verschiedene Arten von Problemen auftreten und analysiert werden können.

Schließlich ist es bemerkenswert, dass viele der verwendeten Programme für die Analyse des Stücks nicht nur Fehler oder Probleme erkennen, sondern auch erlauben diese zu reparieren, oder was noch besser ist, das Modell automatisch zu reparieren.

3.3.2. Unterstützende Strukturen

Für einige Technologien (fast alle, die Kunststoffe verwenden) ist es notwendig, dass, um der Schwerkraft zu widerstehen und Überhangteile (mit inneren Spalten) zu drucken, Stützstrukturen auf diesen Zonen eingefügt werden. Sie sind normalerweise ab 45 Grad erforderlich (für FDM-Drucker).



Abbildung 21: Unterstützungsstrukturen. [35]



Stützstrukturen werden normalerweise aus dem gleichen Material wie das Stück hergestellt, obwohl es 3D-Drucker gibt, die zwei Materialien drucken: Eins für das Stück und eins für die Stützstrukturen. Mit diesen Druckern können lösliche Trägermaterialien in bestimmten Flüssigkeiten verwendet werden.

Da Stützstrukturen nur dazu gedacht sind, die ersten Schichten des Modells, die freitragend oder "schwimmend" sind, zu halten, werden Stützstrukturen leicht gebaut und verwenden weniger Material als für das Teil selbst. Außerdem werden sie das Stück nicht so sehr markieren, wenn sie entfernt werden.

Die meisten verfügbaren Software, ob eine Analysesoftware oder die eigene Software des Druckergeräts erlauben zwei Optionen: ein Design der Unterstützungsstrukturen erstellen oder diese Strukturen automatisch zu berechnen und einzufügen. Wenn Sie nicht genug Erfahrung im 3D-Druck haben, wird empfohlen, dass das Programm die Unterstützung automatisch berechnet. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass das verwendete Material möglicherweise nicht optimiert wird. Zusätzlich kann eine einzelne Software mehrere unterschiedliche Designs für Trägerstrukturen aufweisen.

Eine gute Anleitung zum Entwerfen, Verwenden und Berechnen der Verwendung von Unterstützungen finden Sie unter folgendem Link: <u>https://www.3dhubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview</u>. Dieser Leitfaden ist außerdem an verschiedene Technologien angepasst (FDM, SLA, PolyJet, SLS ...).







Abbildung 22: Unterschiedliche Arten von Stützkonstruktionen. [36]





Abbildung 23: Unterschiede zwischen einem Teil mit optimierten Strützstrukturen (links) und einem nicht optimierten Teil (rechts). Unterschiede zwischen den Druckzeiten sind ebenfalls ersichtlich zu sehen. [37]

3.3.3. Modellfüllung

Dieser Schritt kann vor dem Hinzufügen der Stützkonstruktionen durchgeführt werden. Wenn wir über die Füllung sprechen, geht es um die Struktur, die im Inneren des Objekts aufgedruckt ist. Das heißt, wenn man das am Beispiel eines Würfels denkt, werden die sechs Außenwände fest und mit einer bestimmten Dicke gedruckt, während der innere Teil des Würfels nicht massiv sein wird; man muss daher den Füllgrad und sogar die geometrische Form der Füllung wählen müssen. Mit einigen visuellen Beispielen kann man es besser verstehen:



Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. [38]

Die Abbildung oben zeigt zwei Beispiele für Stücke mit unterschiedlichen Füllungsgraden. Der Prozentsatz wird (in der Software vor dem Druck) gewählt, je nachdem, ob das Stück mehr oder weniger Widerstand haben muss und unter Beachtung des Gewichts.



Das geometrische Muster der Füllung kann ebenfalls gewählt werden. Einige von ihnen sind widerstandsfähiger als andere, aber im Allgemeinen kann das Standardmuster der Software ausgewählt werden.

Prozentsatz und Musterform werden nach mehreren Gesichtspunkten gewählt: Gesamtgewicht des Stückes, verwendetes Material, zu erreichende Beständigkeit, Druckzeit und unter Umständen dekorative Eigenschaften. Generell gilt: Je höher der Füllgrad, desto stärker das Druckstück, aber umso länger dauert auch der Druck. Ein Prozentsatz von ca. 15% ist normalerweise ausreichend.

Nachfolgend einige Beispiele (Software und gedruckte Teile):



Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. [39]

3.3.4. Positionierung und Orientierung

Die Festlegung der Position und Ausrichtung des Werkstücks auf der Druckfläche oder dem Druckbett ist einer der wichtigsten Bestandteile des gesamten Prozesses. Es ist eine Entscheidung, die einen großen Einfluss auf die Stückqualität und die Eigenschaften hat.

Es ist zu berücksichtigen, dass die eine oder andere Positionierung in Abhängigkeit von der verwendeten Drucktechnologie (FDM, SLA, etc.) erfolgt. In diesem Leitfaden wird die Herangehensweise vor allem für FDM (Fused Filament Printer) erklärt.

Eines der am häufigsten herangezogenen Kriterien für die Wahl der Position und Ausrichtung ist ein minimaler Materialeinsatz (und eine geringere Druckzeit). Dies wird durch die Minimierung von Überhangteilen erreicht. Dadurch werden weniger Stützstrukturen gedruckt



und das Stück in kürzerer Zeit gebaut. Manchmal ist jedoch die zu erreichende Qualität wichtiger, so dass nicht optimale Ausrichtungen in Bezug auf Material und Druckzeit gewählt werden können. Einige allgemeine Tipps sind:

- Das Zentrieren der Teile in der Druck- oder Liegefläche. Dies reduziert die Bewegungen des Druckkopfes (und damit die Druckzeit). Außerdem erhöht es die Qualität und Präzision des Werkstücks, da die Druckplattformen in der Regel in ihrem zentralen Teil nivelliert und kalibriert sind, und auch, falls das Werkstück erwärmt wird, weil die Wärme im zentralen Teil größer ist.
- Wenn mehrere Teile auf einmal gedruckt werden, sollten diese mit einem Abstand von ca. 5 15 Millimetern zusammen gesetzt werden.
- Wenn es gekrümmte oder geneigte Flächen gibt und diese Teile des Werkstücks mit einer gewissen Qualität gedruckt werden sollen, sollte das Werkstück so positioniert werden, dass diese Flächen auf der XY-Ebene (horizontale Ebene) oder so parallel wie möglich zu dieser Ebene liegen. Dadurch wird ein "Treppeneffekt" vermieden, bei dem gekrümmte oder geneigte Flächen nicht glatt sind.



Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. [40]

- Wenn das Teil wie im vorigen Bild ein Innenloch oder ein Durchgangsloch hat, wäre es sinnvoll, dieses Loch mit seiner Achse senkrecht zum Druckbett zu setzen, wenn eine hohe Qualität in der Lochoberfläche erforderlich ist.
- Ein sehr langer und ebener Abschnitt, der auf der horizontalen Ebene oder XY-Ebene gedruckt ist, kann sich verformen, was bedeutet, dass seine äußeren Ränder kalt



werden und sehr schnell schrumpfen, wodurch sich das Teil nach oben verformt. Es ist manchmal sinnvoll, diese Teile so zu drucken, dass ihr längster Abschnitt senkrecht zur Bauplatte steht.

- Im Allgemeinen hat die obere Oberfläche eines Druckerzeugnisses die beste Qualität.
- Wenn wir Funktionsteile drucken, die Kräften und Belastungen standhalten müssen, ist es viel wahrscheinlicher, dass sie sich ablösen und brechen, wenn die Kräfte oder Belastungen senkrecht zur Schichtrichtung stehen. Dies ist im nächsten Bild grafisch zu sehen:



3.3.5. Generierung des G-Codes

Nachdem alle vorherigen Schritte entwickelt wurden, ist es an der Zeit, den so genannten G-Code oder Maschinencode zu generieren. Dieser Code ist die Übersetzung des Stückes (und aller zuvor eingestellten Parameter) in Anweisungen, die die Maschine verstehen kann.

Zuvor ist es je nach verwendeter Software notwendig, die Schichthöhe oder die Schichtdicke zu wählen. Dieser Parameter hat auch eine große Bedeutung und wird einen großen Einfluss auf die endgültige Qualität der Oberfläche des Stücks haben. Eine höhere Schichthöhe führt zu einer höheren Auflösung oder Qualität, aber auch zu einer längeren Druckzeit.






Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. [42]

Es ist sehr wichtig zu verstehen, was wichtiger ist: Ästhetik oder ein schneller und kostengünstiger Druck. Manchmal sind Unterschiede zwischen zwei identischen Teilen, aber mit einer Schichthöhe von 100 Mikrometer und 200 Mikrometer schwer zu unterscheiden. Aber das 100-Mikrometer-Stück dauert im Druck doppelt so lang und kostet mehr als das Doppelte. Deshalb ist es sehr wichtig zu wissen, was die endgültige Verwendung eines Stückes sein wird. Es ist auch wichtig, die Anzahl der Kurven und Winkel des Werkstücks zu kennen, da die Schichthöhe auf diesen Abschnitten besser sichtbar ist als auf geraden Wänden.



Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. [43]

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für jede Maschine und Technologie ein bestimmter Bereich von Schichthöhenwerten gewählt werden kann. Zum Beispiel ist für FDM ein sehr gebräuchlicher Bereich 50 bis 300 Mikrometer (0,05 bis 0,3 Millimeter)

An dieser Stelle muss der G-Code generiert werden, was durch verschiedene Software geschehen kann. Möglicherweise sind einige der zu verwendenden Programme bereits in einem vorherigen Schritt verwendet worden. Das Programm schneidet das Modell in horizontale "Schnitte" oder Schichten und erzeugt so den Pfad, dem das Maschinenoberteil



folgt. Es berechnet auch die Materialmenge (Gewicht und Meter) und die geschätzte Druckzeit.



Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. [44]



Mit dem gewählten Programm wird der G-Code exportiert und gespeichert, auf einer SD-Karte oder einem USB-Stick. Oder er kann auch direkt an die Maschine gesendet werden, abhängig von Software und Maschine.

Um diesen Teil zusammenzufassen, ist zu berücksichtigen, dass viele Parameter geändert werden können: Wanddicke, Druckgeschwindigkeit, Drucktemperatur und Betttemperatur,



Fluss, usw. Dies sind jedoch Parameter, die von erfahrenen Benutzern zu bearbeiten sind, und es ist ratsam, sie standardmäßig zu lassen.

3.4. 3D-Druck

Jetzt, da der G-Code vorliegt, kann der Prozess des 3D-Druckens implementiert werden. Es gibt ein paar Dinge zu beachten und zu prüfen, bevor Sie drucken. Bei FDM-Druckern müssen die Temperaturen des Bettes oder der Druckplattform und des Extruders überprüft werden (die Software oder der Drucker machen das automatisch, wenn Sie mit dem Drucken beginnen). Es ist auch empfehlenswert, eine Art von Lack zu verwenden, um die Entnahme des Stücks zu erleichtern. Es ist ratsam, die Anleitung zu lesen, um z.B. auch zu wissen, wie man das Filament ein den Drucker einsetzt, und um weitere Informationen zu erhalten.

Hiermit wird der G-Code an die Maschine gesendet und die Maschine beginnt zu arbeiten.

3.5. Entnahme der Stücke

Wenn der Drucker bereits fertig ist, ist es an der Zeit, den Prozess der Entnahme des/der Teile zu implementieren. Auch hier gilt: Die Entnahmeverfahren sind je nach Maschine und vor allem je nach Technologie und verwendeten Materialien unterschiedlich.

Bei FDM (Fused Deposition Modeling Machines) werden die Teile oft von Hand oder mit einem Werkzeug wie einer Klinge entfernt. Es ist auch möglich, flexible Plattformen zu verwenden, die die Entnahme erheblich erleichtern. Es gibt auch andere Methoden wie die Verwendung eines Lösungsmittels, die Verwendung von Kälte oder Zahnseide.





Abbildung 32: Entnahme. [46]



Weitere Informationen zu den Entnahmeverfahren für FDM-Drucker finden Sie unter folgendem Link: <u>https://all3dp.com/1/remove-3d-print-from-bed-stuck-glass/</u> Bei anderen Technologien ändert sich der Entnahmeprozess. Die Technologien, die z.B. Flüssigkunststoffeimer und Laser verwenden, oder die mit Pulvermaterialien arbeiten, haben verschiedene Entnahmeverfahren:



Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. [47]



Abbildung 34: SLS-Extraktionsverfahren. [48]

3.6. Nachbearbeitung

Für viele Teile ist ein Veredelungsprozess erforderlich, der wieder je nach Technologie und Maschinentyp anders ist. Für einige Technologien und Maschinen ist dieser Prozess notwendig.

Da es eine Vielzahl von Technologien und Maschinen gibt, werden hier die gebräuchlichsten Verfahren und auch die am häufigsten verwendeten für FDM-Drucker vorgestellt.



Zunächst ist es wichtig zu beachten, dass einige der gedruckten Stücke möglicherweise keinen Nachbearbeitungsschritt benötigen. Oder es müssen möglicherweise bei einigen von ihnen nur die Stützstrukturen mechanisch entfernt werden.



Abbildung 35: Nachbearbeitungsprozess. [49]

Es gibt eine Vielzahl von Veredelungsprozessen und Nachbearbeitungsprozessen:

 Stützstrukturen entfernen: Dies kann, wie bereits erwähnt, mechanisch oder durch die Verwendung eines Lösungsmittelbades (auch Wasser) erfolgen, wenn das Druckmaterial dafür geeignet ist.



Abbildung 36: Mechanisches Verfahren. [50]





Abbildung 37: Bad zum Entfernen der Stützstrukturen. [51]

- Schleifen (Sanding): Dies ist ein Verfahren, das anzuwenden ist, wenn die Stützstrukturen bereits entfernt wurden. Mehrere Schleifgrade stehen dafür zur Auswahl.
- *Polieren:* Wenn das Teil eine "spiegelnde" Oberfläche haben soll, muss es poliert werden. Es ist notwendig, das Werkstück mit einem Schleifpapier der Nummer 2000 zu schleifen. Dann wird das Pulver gereinigt und das Stück mit einem Mikrofasertuch und einer speziellen Emaille poliert, die einen dauerhaften Glanz erzeugt. Es gibt auch rotierende Schleifer und Polierer.
- *Beschichtungen (Coatings):* Alle Teile können eine Beschichtung erhalten. Bei Farben ist es ratsam, zuerst eine Schicht aufzutragen und dann mit Aerosol, Acryl oder Airbrush zu lackieren. Epoxygele, Metallbeschichtungen, etc. sind ebenfalls erhältlich.



Abbildung 38: Verschiedene Veredelungen. [52]

Es gibt weitere Veredelungsprozesse: Kugelstrahlen, Glätten mit Acetondampf, etc. Um mehr über Post-Prozesse für die FDM-Technologie zu erfahren, gibt es folgenden Link: <u>https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-fdm-printed-parts</u>



 Aushärteofen: Für andere Technologien, wie z.B. die Stereolithographie, ist es manchmal notwendig, einen Nachbehandlungsprozess in einem UV-Ofen durchzuführen. Dieses Verfahren wird eingesetzt, um unter anderem die Eigenschaften des Materials zu verbessern.

Für weitere Nachbearbeitungen oder Veredelungsprozesse für andere Technologien stehen folgende Links zur Verfügung:

- Für SLS: <u>https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-sls-printed-parts</u>
- Für SLA: <u>https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-sla-printed-parts</u>
- Für FDM und PolyJet: <u>https://www.stratasysdirect.com/wp-</u> content/uploads/2016/10/finishing-for-fdm-and-polyjet-Rebrandeds-2.pdf

Der gesamte Prozess ist im nächsten Schema zusammengefasst:



Schema 3: Produktionsprozess für den 3D-Druck. [53]

4. SOFTWARE, DIE FÜR DEN 3D-DRUCK BENÖTIGT WERDEN

Es gibt verschiedene Software für jede Form der Erstellung des 3D-Objektes, sowie für jede Phase des Prozesses. Um zu wissen, welche Software für Sie am besten geeignet ist und Ihren Anforderungen entspricht, sollten Sie die für Ihren Workflow und Ihr technisches Niveau am besten geeignete Software ermitteln und bewerten.

Der Prozess zur Gewinnung des 3D-Objektes besteht aus 3 Phasen: Entwurf des 3D-Objektes, Reparatur/Generierung des G-Codes und Drucken.



Abbildung 39: Verfahren zur Entwicklung eines 3D-Modells. [54]

Einige Programme sind in der Lage, den gesamten Prozess durchzuführen, d.h. sie verfügen über Werkzeuge zur Erstellung, Verifikation und Reparatur von 3D-Objekten, bis hin zur Generierung von G-Code.

Im Folgenden erläutern wir die Software, die für die Erstellung von 3D-Objekten zur Verfügung steht; sie sind in 3 Gruppen unterteilt.

4.1. Programme für die Konstruktion

Es gibt drei Möglichkeiten, das 3D-Objekt zu erstellen: Modellierung, Scannen und Herunterladen von Datenbeständen, die bereits online verfügbar sind.

Modellierung

ERASMUS+ 3D PRINTING VET CENTRES

> Viele Programme können von Anfang an verwendet werden, um ein 3D-Modell zu erstellen oder zu zeichnen. Es gibt sie in unterschiedlichen Komplexitätsstufen, und auch mit unterschiedlichen Lizenzen. Um festzustellen, welche von ihnen Ihren Bedürfnissen und Fähigkeiten entspricht, listen wir sie unten mit einer kurzen Beschreibung und Links auf, damit Sie mehr über sie erfahren können.



Kostenlose Software

SketchUp [1]	Seine leistungsstarke und dennoch einfach zu bedienende Oberfläche macht es ideal für Anfänger in der 3D-Modellierung.	https://www.youtube.com/watch?v=pv
	Open Source und freie Software für die 3D-Konstruktion. Es wird auch für Animation, Rendering und Videobearbeitung verwendet.	https://www.blender.org/support/tuto
An Open Source parametric 3D CAD modeler	Parametrischer 3D-Modellierer. Es ist einfach, Konstruktionen mit Hilfe der Modellhistorie und der Änderung der Parameter zu ändern. Das Programm ist ein Multiplattform-Tool (Windows, Mac OS und Linux) und liest und schreibt verschiedene offene Dateiformate.	https://www.freecadweb.org/wiki/Draf
WINGS 3D	Fortgeschrittener Subdivision Modeler, der leistungsstark und einfach zu bedienen ist. Es ist Open Source und völlig kostenlos.	http://www.wings3d.com/?page_id=25

Kommerzielle Software - Studentenversion

CAD- und Zeichensoftware für die 2D- und 3D-Konstruktion.	https://knowledge.autodesk.com/supp
Professionelle 3D-CAD-Software bietet einen einfach zu bedienenden Satz von Werkzeugen für die mechanische 3D-Konstruktion, Dokumentation, Produktsimulation und das digitale Prototyping.	https://www.youtube.com/watch?v=IE
Revit wurde speziell für das Building Information Modeling (BIM) entwickelt und ermöglicht es Planern und Konstrukteuren, Ideen vom Konzept bis zum Bau mit einem koordinierten und konsistenten modellbasierten Ansatz umzusetzen.	https://www.youtube.com/watch?v=Pf
Kommerzielle Software	

Kommerzielle Software

3S SOLID WOR	2KS [1]	Es ist eine 3D-Konstruktionslösung zur schnellen Erstellung von Teilen, Baugruppen und 2D-Zeichnungen. Es gibt Anwendungsspezifische Werkzeuge für Blech-, Schweiß-, Oberflächen- und Formwerkzeuge, die es einfach machen, Best-in-Class-Designs zu liefern.	https://www.youtube.com/watch?v=LA pW_KMa
SCATI	A [1]	Führende Softwarelösung für Design, Simulation, Analyse und Herstellung von Produkten für eine Vielzahl von Industrien.	https://www.youtube.com/watch?v=g
CINEMA by MAX	4D XON [1]	3D-Modellierung, Animation, Bewegungsgrafik und Rendering-Anwendung für prozedurale und polygonale/subdivision Modellierung, Animation, Beleuchtung, Texturierung, Rendering und allgemeine Funktionen, die in 3D-Modellierungsanwendungen vorkommen.	https://www.youtube.com/watch?v=iLu





Scannen:

Mit dem 3D-Scannen können Sie eine digitale Kopie eines physischen Objekts aus der realen Welt aufnehmen. Verschiedene Technologien sind in der Lage, ein Objekt zu scannen, um ein 3D-Modell zu erstellen, wie zum Beispiel: Time-of-Flight, strukturiertes / moduliertes Licht, volumetrisches Scannen etc. Einige Scanner sind hier aufgelistet:

	https://structure.io/
Sense [™] 3D Scanner	https://www.3dsystems.com/3d-scanners/sense-scanner
[1]	
XYZ PRINTING [1]	http://eu.xyzprinting.com/eu_en/Product/da-Vinci-1.0-AiO#view
	https://developer.microsoft.com/en-us/windows/hardware/3d- print/scanning-with-kinect

Tabelle 2: Software zum Scannen eines 3D-Mødells. [56]

Download:

Die dritte Möglichkeit, ein 3D-Modell zu erhalten, ist der Download von Repositorien auf Webseiten, die für den Ausdruck bereit sind oder eine kleine Korrektur benötigen. Wenn Sie auf den untenstehenden Link klicken, finden Sie viele Websites, auf denen verschiedene Beispiele von Modellen verfügbar sind.

http://3dprintingforbeginners.com/3d-model-repositories/

https://www.thingiverse.com/

4.2. Programme zum Testen, Orientieren und Reparieren

Bevor das 3D-Modell gedruckt werden kann, muss es analysiert werden. Dies wird aufzeigen, wenn ein Teil nicht gedruckt werden kann oder es einen Fehler gibt. Dann ist es möglich, die Dreiecke, die die zu druckende Oberfläche bilden, zu reparieren, zu verkleinern oder zu vergrößern und das Modell ggf. in Teile zu unterteilen.

Es gibt einige Software, die für diesen Teil des Prozesses zur Verfügung steht; unten finden Sie eine Liste mit den meistgenutzten:



Abbildung 40: Reparieren einer STL-Datei. [58]

Nachfolgend finden Sie einen Link mit einer Erklärung, wie der Prozess abläuft, sowie der Darstellung der Programmoberfläche:

Reparatur mit Netfabb in weniger als 3 Minuten Tutorial:

https://www.netfabb.com/blog/repair-it-netfabb-under-3-minutes



Abbildung 41: Netfabb Premium Interface. [59]



4.3. Programme zur Generierung des G-Codes

G-Code ist eine Sprache, in der man computergesteuerten Werkzeugmaschinen sagt, wie etwas getan werden soll. Das "Wie" wird durch Anweisungen definiert, wohin bewegt werden soll, wie schnell bewegt werden soll und welchen Weg einschlagen werden soll. Der G-Code kann mit vielen verschiedenen Programmen wie Skeinforge, Cura, Slic3r generiert werden.... Eine der meistgenutzten Software ist Slic3r. Es ist ein notwendiges Werkzeug, um ein 3D-Modell in Druckanweisungen (G-Code) für den 3D-Drucker umzuwandeln. Es schneidet das Modell in horizontale Schnitte (Schichten), erzeugt Werkzeugwege zum Füllen und berechnet die zu extrudierende Materialmenge. Es ist möglich, das Objekt zu skalieren, drehen, teilen oder zu schneiden, und auch Stützstrukturen hinzuzufügen.

• Erstellen des G-Codes mit Slic3r:



 Sobald Slic3r geöffnet ist, klicken Sie auf die
 Schaltfläche "Add", wählen Sie das Modell aus und
 öffnen Sie es. Slic3r erlaubt es, das Modell zu modifizieren, zu drehen, zu skalieren, zu schneiden, aber wenn es zum Drucken bereit ist, ist der nächste Schritt die Erstellung des G-Codes.
 Klicken Sie dazu auf "Export G-Code" und speichern Sie ihn.

Abbildung 42: Öffnen einer 3D-Konstruktion mit Slic3r. [60]





2	Slic3r		He Plater Object Settings View Window Help	
File	Plater Object Settings View Window I	Help	Piter	
۲	Select		3 Ann 3 Gente A Dente An 18 Anning B B () () () Anning B B () () () () () () () () ()	
7	Undo C	trl+Z	Save G code file as:	
C	Redo Ctrl+Sh	ft+Z	Organize - Newfolder III - D	
⇒	Select Next Object Ctrl+I	Right	★ Favorites Name Date modified Type	
←	Select Prev Object Ctrl-	Left	Devitop Rook_v 23.01.2018.18.48 GCODE File Z. ANSCOILEISENO	i
Q	Zoom In Ctr	l+up	kann der G-Code	- د
Q	Zoom Out Ctrl+c	own	Recert Places	c
*	Export G-code		des 3D-IVIOdells a	ut
	Export plate as STL		eine SD-Karte	
٩	Export plate with modifiers as AMF		Music Peteres Konjort und in de	'n
٢	Export plate with modifiers as 3MF			.11
			Binner Television and SD-Drucker	
			Save as type: Groode files (*gcode, *gco, *g, *ngc)	_
			eingelegt werder	า.

Abbildung 43: G-Code mit Slic3r. [61]





• ZBRUSH





5. 3D-DRUCKMATERIALIEN

5.1. Overview

Wenn es um den 3D-Druck geht, sind Materialien oft eine der wichtigsten Entscheidungen, die zu treffen sind. Frühere AM-Technologien nutzten bestimmte Materialien, die sich als nicht widerstandsfähig genug erwiesen und schnell abgebaut wurden. Mit der Zeit hat sich das Wissen über das 3D-Drucken erweitert und sich auf der ganzen Welt verbreitet. Mit mehr Interessierten und der Vorstellung, dass diese Technologie das richtige Potenzial hat, um zu neuen innovativen Herstellungsmethoden zu führen, wurden weitere Studien und Analysen durchgeführt und neue Materialien geschaffen.

Der 3D-Druckmarkt bietet heute eine Vielzahl von Möglichkeiten, was die Materialien betrifft. Von Polymeren und Metallen bis hin zu Keramiken und Verbundwerkstoffen sind viele Werkstoffe entstanden, jeder mit seinen Vor- und Nachteilen. Einige Beispiele sind auf 3dhubs.com zu sehen, einem Portal, das 3D-Druckdienste auf globaler Ebene anbietet. [63]:

- Prototyping Plastic, geeignet für schnelles und kostengünstiges Prototyping;
- High Detail Resin, geeignet für aufwendige Entwürfe und Skulpturen;
- SLS Nylon, für Funktionsprototypen und Endprodukte;
- Fiber-Reinforced Nylon, für die Konstruktion starker Teile;
- Rigid Opaque Plastic, für realistische Prototypen mit hoher Genauigkeit;
- Gummiartiger Kunststoff, Simulierung von Gummi;
- Transparenter Kunststoff, zum Erstellen von durchsichtigen Teilen und Prototypen;
- Simuliertes ABS, mit hochpräzisen und funktionellen Formen (molds);
- Vollfarbiger Sandstein, für fotorealistische Modelle;
- Industrie-Metalle, für Prototypen und Endprodukte.

Das Angebot der Industrie ist natürlich viel breiter als hier beschrieben. Was die Nachfrage betrifft, so wird hier der Einsatz eines bestimmten Materials nicht nur durch die Art der eingesetzten Technologie, sondern auch durch die Beliebtheit von 3D-Druckmaschinen stark beeinflusst. Laut dem globalen 3D-Druckbericht für 2016, der Informationen von Unternehmen sammelte, die verschiedene 3D-Drucktechnologien einsetzen, zeigt die



Nachfrage nach Materialien in diesem Fall, dass Metall die Konkurrenz anführt. Metalle werden derzeit aus vielen Gründen in Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt und dem Automobilbau eingesetzt. Abgesehen von der hohen Stückzahl, die Unternehmen in diesem Fall benötigen, ermöglicht die 3D-Drucktechnologie mit Metallen die Herstellung von Leichtbauteilen. Das Gewicht ist für die Unternehmen, die Flugzeugkomponenten herstellen, in der Tat sehr wichtig. Das Gewicht beeinflusst die Treibstoffmenge, die von den Flugzeugen verbraucht wird, und ermöglicht sehr wichtige Einsparungen für die Fluggesellschaften. [64]



Abbildung 45: Verwendete 3D-Druck Materialien (%) [65]

Die obige Grafik zeigt stattdessen den prozentualen Bedarf an 3D-Druckmaterialien ab 2016. Führend sind hier die Polymermaterialien, denen kurz darauf die Metalle folgen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Unternehmen viel Erfahrung mit der Verwendung beider Kategorien haben, jedoch ist viel weniger Gebrauch für Keramik registrier. Der Einsatz ist hier hingegen deutlich geringer. Nur 10 % der Unternehmen nutzen sie, was wahrscheinlich in erster Linie auf ihre Langlebigkeit und Flexibilität zurückzuführen ist. Keramiken machen es nicht möglich, eine bestimmte Art von Gegenständen herzustellen wie es Kunststoffe oder Filamente könnten. Metalle allerdings haben eine sehr hohe Widerstandsfähigkeit. [66] Die heutigen Trends bestätigen den bereits eingeschlagenen Weg. Ende 2017 wurde berichtet, dass PLA-Materialien derzeit mit einem Anteil von 32% am Gesamtanteil an der Spitze des Charts stehen. Kurz darauf folgen ABS-Filamente mit einem Anteil von 14%. Standardharze sind mit einem Anteil von 8 % das am dritthäufigsten verwendete Material. Gleichzeitig zeigen die Trends, dass einige Materialien aufgrund des zunehmenden Einsatzes einer bestimmten Maschine und damit einer bestimmten Technologie mehr als bisher



verwendet wurden. In diesem Fall hat beispielsweise das Material PA 12 dank der neuen Maschinen für die SLS-Technologie, die der Markt derzeit neben der Multi Jet Fusion-Technologie von HP anbietet, an Bedeutung gewonnen. [67]

Nachfolgend einige der Indikatoren für das aktuelle Angebot an 3D-Druckmaterialien, einschließlich der Menge der verwendeten **biobasierten Materialien**, sowie die verfügbaren **Farben** und **Durchmesser** und viele andere Merkmale.





5.2. FDM, SLS und SLA 3D-Druckmaterialien

Nach den neuesten Trends Ende November 2017 und basierend auf der Studie in Kapitel 2, sind derzeit die drei am häufigsten verwendeten 3D-Drucktechnologien:

- 1. Fused Deposition Modeling (FDM);
- 2. Selective Laser Sintering (SLS);
- 3. Stereolithography (SLA).

Was **Fused Deposition Modeling** (FDM) betrifft, sind einige der beliebtesten Materialien:

- Thermoplastic Filament
- PLA: Einfach zu drucken, sehr genau, niedriger Schmelzpunkt, starr. Gut für die meisten Dinge, nicht für warme / heiße Regionen.
- ABS: Neigt zum Warpen, stark und leicht flexibel. Verwendet für viele mechanische Teile.
- PETG: Einfach zu drucken und präzise, neigt zu Fäden, gute Schichthaftung.
- TPU: Flexibles Polymer; okay, zu drucken, irgendwie wie steifer Gummi. Am besten mit Direktantriebsmaschinen verwendet.
- Nylon: Stark und flexibel; spezielle Filamente f
 ür Drucker existieren. Polycarbonat: widerlich stark, hohe Warp, hohe Temperatur, schlechte D
 ämpfe [Paul Chase, 3D Printing 101. 2016.]

In Bezug auf ABS und PLA gibt es keine Grenze, die man von ihnen machen kann, zum Beispiel können sie zusammengemischt werden. Sie stellen eine viel bessere Lösung für die Verwendung von reinem Kunststoffmaterial dar; Dies ist tatsächlich relativ teuer mit einer geringen Festigkeit und Haltbarkeit. Endprodukte können in der Regel leicht verzerrt werden. Daher machen Kunststoffe FDM nicht kosteneffektiv, noch erlaubt es die

Technologie in funktionellen und lasttragenden Anwendungen, insbesondere in einer Großproduktion, zu verwenden.

ABS-Filamente können stattdessen eine Vielzahl von Formen annehmen und können so konstruiert sein, dass sie viele Eigenschaften aufweisen. Daher sind sie stark, aber auch sehr



Abbildung 47: Legosteine aus ABS. [69]



flexibel; Sie können geschliffen und bearbeitet werden, und Azeton kann verwendet werden, um die Teile durch Bürsten oder Tauchen darin zu glänzen. Ein erster Vergleich zwischen ABS und PLA ist, dass die früheren Filamente viel einfacher zu recyceln sind, ein weiterer Grund, warum die meisten Ingenieure diese Art von Material bevorzugen würden.

Was das **Selective Laser Sintering** (SLS) betrifft, sind die beliebtesten Materialien die Kategorie der Polyamide. Ein sehr klares Beispiel ist Nylon.

Objekte werden in diesem Fall durch ein extrudiertes Filament oder durch gesintertes feines Pulver erzeugt. Das Material ist zwar starr, stark, biegt sich aber auch unter hoher Belastung. Polyamide werden ebenfalls zu den billigsten Materialien gezählt.

Nachbearbeitungsdrucke, die mit dieser Art von Material erstellt wurden, ermöglichen jegliche Art von Politur, Färben oder Malen und geben somit eine größere Freiheit. Die negative Seite von Polyamiden ist, dass sie Feuchtigkeit schnell absorbieren und ordnungsgemäß gelagert werden müssen.

Was die **Stereolithographie** anbetrifft, so sind Kunststoffe und Harze weit verbreitet. Der Markt bietet eine Vielzahl von verschiedenen Harzen, die aus verschiedenen Rückgraten und Seitengruppen bestehen - verschiedene Kombinationen von langen und kurzen Monomeren, Oligomeren, Photoinitiatoren und Additiven. Dies bietet einzigartige Freiheit bei der Herstellung verschiedener Formulierungen mit einer breiten Palette an optischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften, von klar bis opak und gefärbt, flexibel bis starr und zäh bis hitzebeständig.

Harze können in Form von flüssigen Photopolymermaterialien vorliegen, die durch ultraviolette (UV) Energie gehärtet und gehärtet werden. Harze sind heute eines der besten Materialien in Bezug auf die Möglichkeiten.

Die Technologien, die sich um Harze entwickelt haben, sind diejenigen, die höchste Qualität bieten, und dies macht es zu einer guten Wahl für professionelle Anwendungen, wichtige Produktpräsentationen, kleine Objekte und so weiter.



Abbildung 48: Polyamid. Ein starkes und flexibles Material mit einem hohen Detaillierungsgrad. [70]



Vorteile bei der Verwendung von Harzen umfassen die Eignung für Drucke mit hoher Auflösung, glatte Texturen ohne die Notwendigkeit einer Nachbearbeitung derselben, eine große Vielzahl von Farben und Eigenschaften, einschließlich Transparenz und Transluzenz. Nachteile umfassen stattdessen die Tatsache, dass Harze irritierend und toxisch sein können, was dazu führt, dass die richtige Ausrüstung benötigt wird, um sie zu behandeln. Reinigung ist ebenfalls erforderlich. Obwohl das Material viel Freiheit bietet, erfordert der Druck eine Stützstruktur, die zu einem erhöhten Materialeinkauf führt und daher teuer werden kann. Diese letzte Frage wird auch durch die Anzahl der durchgeführten Nachbearbeitungsschritte beeinflusst.

6. BESCHRÄNKUNGEN VON GEDRUCKTEN ØBJEKTEN

In diesem Abschnitt wollen wir die Grenzen sowohl der additiven Fertigung als auch des 3D-Drucks im Allgemeinen sowie der besonderen Beschränkungen jeder Technologie aufzeigen, wobei wir uns auf die Technologie Fused Deposition Modeling (FDM) konzentrieren.

6.1. Einschränkungen der additiven Fertigung und des 3D-Drucks

Trotz der offensichtlichen Fortschritte, die diese Technologie der Branche aufgrund ihrer unbestreitbaren Vorteile bringen kann, gibt es Einschränkungen, die additive Fertigungstechnologien in vielen Sektoren nicht weit verbreitet machen. Die derzeitigen Beschränkungen sind sowohl auf die AM-Prozesse selbst zurückzuführen, die noch verbessert werden können, als auch auf Hilfsprozesse (frühere Materialmanipulationen, Nachbearbeitung, Qualitätskontrolle ...), die in vielen Fällen ihre Lebensfähigkeit bedingen. Der Mangel an Wissen darüber, wie die Produkte gestaltet werden sollen und wie die Unternehmen neu ausgerichtet werden können, um diese neuen Technologien erfolgreich zu integrieren, beeinflusst ebenfalls. [71]

Diese Beschränkungen sind zweifellos überwindbar und stellen Herausforderungen für Forschung, technologische Entwicklung und Innovation dar, die derzeit von Forscherteams und vielen Unternehmen auf der ganzen Welt in Angriff genommen werden. Einige dieser Einschränkungen sind die folgenden:



Technologien in der Entwicklung: Viele Technologien werden ständig weiterentwickelt. Einige von ihnen befinden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium. In ein paar Jahren kann eine Maschine veraltet oder veraltet sein.

Verfügbarkeit und Kosten des Rohmaterials: Die Materialversorgung an einigen Stellen kann kompliziert sein. Außerdem sind einige Materialien ziemlich teuer, wenn Sie nach sehr spezifischen Eigenschaften suchen. Das einfachste und billigste Material ist normalerweise Kunststoff.

Anfangsinvestition: Desktop-FDM-Drucker sind normalerweise billig, aber für andere Technologien, insbesondere, wenn größere Maschinengrößen gesucht werden, kann die Anfangsinvestition sehr hoch sein.

Größe der Stücke: Die Größe der zu produzierenden Stücke hängt vom Druckbett ab. Es stimmt zwar, dass viele große Stücke gehackt und dann zusammengefügt werden können.

Nicht profitable Massenproduktion: Die additive Fertigung und der 3D-Druck sind auf sehr kurze Stückzahlen (ca. 1 - 10 Stück) ausgelegt. Bei längeren Serien ist die Produktion mit diesen Technologien nicht profitierbar.

Ausführungen und Präzision: Im Allgemeinen wird ein sehr gutes Finish und eine sehr gute Präzision teuer. Das heißt, es wird notwendig sein, auf teurere Technologien und Maschinen zurückzugreifen. Darüber hinaus können die Teile Nachbearbeitung, andere Maschinen und spezielle Teilprozesse erfordern.

Beziehen von digitalen Dateien: Wenn spezifische und hochgradig kundenspezifische Teile gewünscht sind, ist es notwendig, fortgeschrittene CAD-Konstruktionskenntnisse zu besitzen. Meistens reichen die Repositories von CAD-Dateien nicht aus. Das Gleiche gilt für den 3D-Scanner; Sie sind teuer und erfordern bestimmte Kenntnisse.

6.2. Einschränkungen je nach Art der Technologie

Jetzt werden bestimmte Einschränkungen festgelegt, gruppiert nach jeder Art von Technologie:

• Einschränkungen von Fused Deposition Modeling (FDM).

Schlechte Oberflächengüte und geringe Druckgeschwindigkeit im Vergleich zu anderen 3D-Drucktechnologien. Die typische Druckgröße für Desktop-FDM-Drucker beträgt 20 x 20 x 20



cm. Erfordert Stützstrukturen zum Drucken von Teilen mit geringeren Winkeln von 45 Grad. Die Wände müssen mindestens 0,8 mm dick sein. Die gravierten oder geprägten Details können nicht genauer sein als 0,6 mm breit und 2 mm hoch. Horizontale "Brücken" von mehr als 10 mm können ohne Stützen nicht hergestellt werden. Im Allgemeinen können Löcher mit einem Durchmesser von weniger als 2 mm nicht bedruckt werden. Um sicherzustellen, dass ein Teil eines Teils beim Drucken nicht versagt, muss die Größe dieses Teils größer als 2 mm sein. Wenn es um das Drucken von Verbindungsstiften geht, beträgt der empfohlene Mindestdurchmesser 3 mm. Die zu erwartende Toleranz (Maßhaltigkeit) beträgt \pm 0,5% (ca. \pm 0,5 mm).

• Einschränkungen von Selective Laser Sintering (SLS).

Das durchschnittliche Bauvolumen beträgt ca. 30x30x30 cm. Die Oberfläche ist leicht granuliert und matt, wenn eine glänzende und glatte Oberfläche gewünscht wird, wird eine Nachbearbeitung empfohlen. Die Wände müssen mindestens 0,7 mm dick sein. Geprägte oder gravierte Details sollten mindestens 1 mm (Breite und Höhe) betragen. Im Allgemeinen können Löcher mit einem kleineren Durchmesser als 1,5 mm nicht gedruckt werden. Um das Trägermaterial (nicht gesinterter Staub) zu entfernen, müssen sich in den Teilen Undichtigkeiten befinden. Diese müssen einen Mindestdurchmesser von 5 mm haben. Die Mindestgröße eines Teils eines Teils, so dass der Eindruck nicht versagt, beträgt etwa 0,8 mm, gleiches gilt für die Verbindungsstifte. Die erwartete Toleranz beträgt ca. $\pm 0,3\%$ ($\pm 0,3$ mm).

• Einschränkungen von Stereolithography (SLA).

SLA-Drucker haben im Allgemeinen ein viel kleineres Bauvolumen als die meisten FDM-Drucker, mit Ausnahme von Industriemaschinen, die eine Druckgröße von 14,5 x 14,5 x 14,5 cm haben können. Wenn das Stück größer ist, ist es besser, es in kleineren Abschnitten zu drucken und sie dann zu montieren. Die Kosten für die Harze sind sehr hoch (ab 150 € / Liter). Die meisten Teile, die mit SLA gedruckt werden, benötigen einen Nachhärtungsprozess in einem UV-Ofen. Die empfohlene Mindestbreite der Wände beträgt 0,5 mm (wenn die betreffende Wand mit einem anderen Element verbunden ist) oder 1 mm (wenn dies nicht der Fall ist). Für auskragende Teile werden immer Tragstrukturen benötigt (dadurch wird auch das Drucken teurer). Die gravierten oder geprägten Details sollten 0,4 mm (Breite und



Höhe) betragen. Die kleinsten Löcher, die gedruckt werden können, haben einen Durchmesser von etwa 0,5 mm. Damit das Material in hohlen Stücken austreten kann, sollten Fluchtlöcher gelassen werden, die einen Durchmesser von ca. 4 mm haben sollten. Damit ein Abdruck nicht fehlschlägt, beträgt die Mindestgröße der Teile des Stücks 0,2 mm. Für Anschlussstifte wird ein Durchmesser von 0,5 mm empfohlen. Die zu erwartende Toleranz bzw. Maßhaltigkeit liegt bei ± 0,5% (± 0,15 mm).

VERGLEICHSTABELLE

	EINSCHRÄNKUNG	TECHNOLOGIE			
NAME	DESCRIPTION	SKETCH	FDM	SLA	SLS
Unterstützte Wände	Wände, die auf mindestens zwei Seiten mit dem Rest des Ausdrucks verbunden sind.		0.8 mm	0.5 mm	0.7 mm
Nicht unterstützte Wände	Nicht unterstützte Wände sind auf weniger als zwei Seiten mit dem Rest des Drucks verbunden.		0.8 mm	1 mm	
Unterstützung und Überhänge	Der maximale Winkel einer Wand kann ohne Unterstützung gedruckt werden.		45°	Support ist immer erforderlich	
Geprägte und gravierte Details	Merkmale auf dem Modell, die unter der Modell- oberfläche an- gehoben oder ver- tieft sind.		0.6 mm breit & 2mm hoch	0.4 mm breit & hoch	1 mm breit & hoch
Horizontale Brücken	Die Spanne, die eine Technologie drucken kann, ohne Unterstützung zu benötigen.		10 mm		



Löcher	Der minimale Durchmesser einer Technologie kann ein Loch erfolgreich drucken.	2 mm	5 mm	1.5 mm
Verbinden / Verschieben von Teilen	Der empfohlene Abstand zwischen zwei beweglichen oder verbindenden Teilen.	0.5 mm	0.5 mm	0,3 mm für bewegliche Teile und 0,1 mm für Verbindungen
Fluchtlöcher	Der Mindest- durchmesser der Fluchtlöcher, um das Entfernen von Baumaterial zu ermöglichen.		4 mm	5 mm
Mindest- merkmale	Die empfohlene Mindestgröße eines Features, um sicherzustellen, dass das Drucken nicht fehlschlägt.	2 mm	0.2 mm	0.8 mm
Stiftdurch- messer	Der minimale Durchmesser, um den ein Stift gedruckt werden kann.	3 mm	0.5 mm	0.8 mm
Toleranz	Die erwartete Toleranz (Durch- messergenauigkeit) einer bestimmten Technologie.	± 0.5% (Untergrenz e ± 0,5 mm)	± 0.5% (Untergrenz e ± 0.15 mm)	± 0.3% (Untergrenze ± 0.3 mm)

Tabelle 4: Vergleichstabelle. [72]

6.3. Einführung in die Einschränkungen der FDM-Technologie

Wir gehen ein wenig tiefer in die FDM-Technologie ein und zeigen einige ihrer Einschränkungen im Detail auf und schlagen einige Methoden vor, die in der Entwurfsphase implementiert werden können, um die Auswirkungen dieser Einschränkungen beim Drucken eines Objekts zu minimieren.



BRIDGING

Die Bridging in FDM tritt auf, wenn der Drucker zwischen zwei Stützen oder Ankerpunkten drucken soll. Da für die anfängliche Schicht keine Unterstützung angeboten wird (es gibt nichts, auf das man aufbauen könnte) und es erforderlich ist, eine Lücke zu "überbrücken", neigt das Material dazu, durchzuhängen. Brücken treten am häufigsten in horizontalen Achslöchern auf, die sich in den Wänden von Objekten oder in der oberen Schicht (oder dem Dach) von hohlen Teilen befinden.

Eine Lösung, um die Auswirkungen von Überbrückungen zu verringern, besteht darin, den Abstand der Brücke zu reduzieren, dies hängt jedoch von den Konstruktionsbeschränkungen des Teils ab. Eine weitere Lösung zur Vermeidung von Durchhängen ist die Unterstützung. Support bietet eine temporäre Build-Plattform für den Bridging-Layer. Das Trägermaterial wird dann entfernt, sobald der Druckvorgang abgeschlossen ist. Dies kann Spuren oder Beschädigungen auf der Oberfläche hinterlassen, wo der Träger mit dem Endteil verbunden war.



Abbildung 49: FDM-gedrucktes Puzzlestück mit entfernter Unterstützung, die Oberflächenrauheit zeigt. [73]

Wichtige Designüberlegung: Aufgrund der Beschaffenheit von FDM sind Absackungen oder Abdrücke vom Trägermaterial immer in gewissem Umfang vorhanden, sofern die Brücke nicht weniger als 5 mm beträgt. Eine fortgeschrittene Lösung besteht darin, das Design in einzelne Teile aufzuspalten oder eine Form der Nachbearbeitung zu betrachten, wenn eine ebene und glatte Oberfläche benötigt wird.



VERTIKALE ACHSENLÖCHER

FDM druckt oft Löcher mit vertikalen Achsen zu klein aus. Der allgemeine Prozess zum Drucken eines Lochdurchmessers und der Grund für die Verringerung des Durchmessers ist:

- 1. Da die Düse den Umfang einer vertikalen Achsenöffnung druckt, komprimiert sie die neu gedruckte Schicht auf die vorhandenen Schichten, um die Haftung zu verbessern.
- 2. Die Kompressionskraft von der Düse verformt die extrudierte runde Schichtform von einem Kreis in eine breitere und flachere Form (siehe Bild unten).
- 3. Dies erhöht die Kontaktfläche mit der zuvor gedruckten Schicht (verbessert die Haftung), erhöht aber auch die Breite des extrudierten Segments.
- 4. Das Ergebnis ist eine Verringerung des Durchmessers des Lochs, das gedruckt wird.

Dies kann besonders problematisch sein, wenn Löcher mit kleinem Durchmesser gedruckt werden, bei denen der Effekt aufgrund des Verhältnisses von Lochdurchmesser zu Düsendurchmesser größer ist.



Abbildung 50: Die Variation des Slicer-Programms gegenüber dem tatsächlichen Durchmesser der vertikalen Löcher ist auf die Kompression des extrudierten Profils zurückzuführen. [74]

Die Größe des Untermaßes hängt vom Drucker, der Schneide-Software, der Größe des Lochs und dem Material ab. Häufig wird die Verringerung des Durchmessers von Löchern in der vertikalen Achse in dem Schneidprogramm berücksichtigt, aber die Genauigkeit kann variieren und mehrere Testdrucke können erforderlich sein, um die gewünschte Genauigkeit



zu erreichen. Wenn ein hohes Maß an Genauigkeit erforderlich ist, kann das Bohren des Lochs nach dem Drucken erforderlich sein.

Wichtige Konstruktionsüberlegungen: Wenn der Durchmesser Ihrer vertikalen Achsenbohrung kritisch ist, wird das Drucken untermaßig und dann das Bohren des Lochs auf den richtigen Durchmesser empfohlen.

<u>ÜBERHÄNGE</u>

Probleme mit Überhang sind eines der häufigsten Druckqualitätsprobleme in Bezug auf FDM. Überhänge treten auf, wenn die bedruckte Materialschicht nur teilweise von der darunter liegenden Schicht getragen wird. Ähnlich wie bei der Überbrückung kann die unzureichende Unterstützung, die durch die Oberfläche unter der Aufbauschicht bereitgestellt wird, zu einer schlechten Schichtadhäsion, Ausbeulung oder Kräuselung führen.



Abbildung 51: Der Effekt des zunehmenden Überhangs (in Schritten von 5 Grad) auf die Druckqualität. Max. Winkel ist 70 Grad. [75]

Ein Überhang kann normalerweise ohne Qualitätsverlust bis zu 45 Grad gedruckt werden, abhängig vom Material. Bei 45 Grad wird die neu gedruckte Schicht von 50% der vorherigen Schicht unterstützt. Dies ermöglicht eine ausreichende Stützung und Haftung. Über 45 Grad ist eine Unterstützung erforderlich, um sicherzustellen, dass die neu gedruckte Schicht nicht aus der Düse herauswölbt.



Ein weiteres Problem beim Drucken von Überhängen ist Curling. Die neu gedruckte Schicht wird am Rand des Überhangs immer dünner, was zu einer differentiellen Kühlung führt, die bewirkt, dass sie sich nach oben verformt (siehe Bild oben).

Wichtige Konstruktionsüberlegungen: Einschränkungen für Überhänge können durch die Verwendung von Stützen für Wandwinkel über 45 Grad beseitigt werden. Bei größeren Überhängen, bei denen eine Unterstützung erforderlich ist, sind Markierungen auf der endgültigen Oberfläche vorhanden, sofern sie nicht nachbearbeitet werden.

ECKEN

Da die Druckdüse in FDM kreisförmig ist, haben Ecken und Kanten einen Radius, der gleich der Größe der Düse ist. Dies bedeutet, dass diese Merkmale niemals perfekt quadratisch sein werden. Für scharfe Kanten und Ecken sind die ersten Schichten eines Druckes besonders wichtig. Wie oben für vertikale Löcher diskutiert, drückt die Düse, wenn jede Schicht gedruckt wird, das Druckmaterial herunter, um die Haftung zu verbessern. Für die anfängliche Druckschicht erzeugt dies eine Fackel, die oft als "Elefantenfuß" bezeichnet wird. Dies kann sich auf die Fähigkeit auswirken, FDM-Teile zu montieren, wenn diese Erweiterung außerhalb der angegebenen Maße herausragt.



Abbildung 52: Seitenansicht des Elefantenfußes, die auf den Basisschichten eines FDM-Drucks auftreten kann. [76]

Ein anderes Problem, das häufig in Bezug auf die erste Druckschicht eines FDM-Drucks auftritt, ist Verziehen. ABS ist anfälliger für Verwerfungen aufgrund seiner hohen Drucktemperatur im Vergleich zu PLA. Die Basisschicht ist die erste zu bedruckende Schicht und kühlt ab, während die anderen heißen Schichten oben gedruckt werden. Dies führt zu einer unterschiedlichen Kühlung und kann dazu führen, dass sich die Basisschicht zusammenzieht und von der Bauplatte entfernt wird, wenn sie schrumpft und zusammenzieht.



Das Hinzufügen einer Fase oder eines Radius entlang der Kanten des Teils, die in Kontakt mit der Bauplatte sind, wird die Auswirkung dieser Probleme verringern. Dies wird auch beim Entfernen der Komponente von der Bauplatte helfen, sobald der Druckvorgang abgeschlossen ist. Wichtige Konstruktionsüberlegungen: Wenn die Montage- oder Gesamtabmessungen für die Funktion eines FDM-Bauteils entscheidend sind, schließen Sie an allen Kanten eine 45-Grad-Fase oder einen Radius ein, die die Bauplatte berühren. Für hochpräzise Form- und Dichtsitzprüfungen werden andere Technologien wie SLA oder Polyjet empfohlen.

VERTIKALE PINS

Vertikale Stifte werden oft in FDM gedruckt, wenn die Montage von Teilen oder Ausrichtung erforderlich ist. Wenn man bedenkt, dass diese Funktionen häufig funktionieren, ist es wichtig, die Größe der vertikalen Pins zu verstehen, die FDM genau drucken kann.

Große Stifte (größer als 5 mm Durchmesser) sind mit einem Umfang und einer Füllung bedruckt, die eine starke Verbindung mit dem Rest des Drucks ergeben. Stifte mit kleinerem Durchmesser (weniger als 5 mm Durchmesser) können nur aus Randabdrücken ohne Füllung bestehen. Dies erzeugt eine Diskontinuität zwischen dem Rest des Druckes und dem Stift, was zu einer schwachen Verbindung führt, die anfällig für Brechen ist. Im schlimmsten Fall können kleine Stifte überhaupt nicht drucken, da nicht genügend Druckmaterial für die neu gedruckten Schichten vorhanden ist.

Oft kann eine korrekte Druckerkalibrierung (optimale Schichthöhe, Druckgeschwindigkeit, Düsentemperatur usw.) die Wahrscheinlichkeit verringern, dass kleine Stifte versagen. Das Hinzufügen eines Radius an der Basis des Stiftes wird diesen Punkt als Spannungskonzentration eliminieren und Stärke hinzufügen. Für kritische Stifte, die kleiner als 5 mm Durchmesser sind, kann ein handelsüblicher Stift, der in ein gedrucktes Loch eingesetzt wird, die optimale Lösung sein.

Wichtige Überlegungen zum Design: Wenn Ihr Design Stifte mit einem Durchmesser von weniger als 5 mm enthält, fügen Sie eine kleine Kehle an der Basis des Pins hinzu. Wenn die Funktion kritisch ist, sollten Sie ein Loch in Ihrem Design an der Stelle des Stifts vorsehen, das Loch auf die richtige Größe bohren und einen handelsüblichen Stift einsetzen.





Abbildung 53: Druck von vertikalen Stiften mit abnehmendem Durchmesser (von 25 bis 5 mm), der den oberen Durchmesser des Druckes zeigt, der zu klein wird, um genau zu drucken. [77]

FORTSCHRITTLICHES DESIGN

Beim Drucken mit FDM müssen mehrere wichtige Aspekte berücksichtigt werden, wie die erforderliche Unterstützung, die Teileausrichtung und die Richtung, in der das Teil auf der Erstellungsplattform erstellt wird, reduziert werden.

Aufteilen Ihres Modells:

Oftmals kann das Aufteilen eines Modells seine Komplexität reduzieren, was Kosten und Zeit spart. Überhänge, die eine große Menge an Unterstützung benötigen, können entfernt werden, indem einfach eine komplexe Form in Abschnitte aufgeteilt wird, die einzeln gedruckt werden. Wenn gewünscht, können die Abschnitte nach Abschluss des Drucks zusammengeklebt werden.







Printing as one object Support is needed Slicing in two parts No support is needed



LOCHORIENTIERUNG

Die Unterstützung für Löcher wird am besten durch Ändern der Druckausrichtung vermieden. Die Entfernung der Stütze in horizontalen Achslöchern kann oft schwierig sein, aber durch Drehen der Baurichtung um 90 Grad wird der Bedarf an Unterstützung beseitigt. Bei Komponenten mit mehreren Löchern in verschiedenen Richtungen, priorisieren Sie Blindlöcher, dann Löcher mit dem kleinsten bis größten Durchmesser und dann die Größe der Löcher.



Abbildung 55: Neuausrichtung der horizontalen Achsenlöcher kann die Unterstützung überflüssig machen. [79]





BAUICHTUNG

Aufgrund der anisotropen Natur des FDM-Drucks ist es für den Erfolg eines Designs entscheidend, die Anwendung einer Komponente zu verstehen und wie sie aufgebaut wird. FDM-Komponenten sind aufgrund der Schichtorientierung in einer Richtung inhärent schwächer.





Das Fehlen kontinuierlicher Materialpfade und die durch die einzelnen Schichtverbindungen erzeugte Spannungskonzentration tragen zu dieser Schwäche bei. Da die Schichten als ein rundes Rechteck gedruckt werden, sind die Verbindungen zwischen jeder Schicht tatsächlich kleine Täler. Dies erzeugt eine Spannungskonzentration, in der sich ein Riss bilden soll.







FAUSTREGELN

- Wenn eine Brücke 5 mm überschreitet, können Durchbiegungen oder Abdrücke vom Trägermaterial auftreten. Wenn Sie das Design oder die Nachbearbeitung aufteilen, kann dieses Problem.
- Bei kritischen vertikalen Bohrungsdurchmessern wird eine Bohrung nach dem Drucken empfohlen, wenn eine hohe Genauigkeit erwünscht ist.
- Durch das Hinzufügen von Unterstützung können FDM-Drucker Wandwinkel von mehr als 45 Grad drucken.
- Fügen Sie an allen Kanten eines FDM-Teils, das die Bauplatte berührt, eine 45-Grad-Schräge oder einen Radius ein.
- Fügen Sie für Anwendungen mit kleinen vertikalen Stiften eine kleine Verrundung an der Basis hinzu oder ziehen Sie stattdessen einen handelsüblichen Stift in ein gedrucktes Loch ein.
- Das Teilen eines Modells, das Neuausrichten von Löchern und das Spezifizieren der Fertigungsrichtung sind Faktoren, die Kosten senken, den Druckprozess beschleunigen und die Festigkeit und Druckqualität eines Designs verbessern können. [82]

7. BEISPIEL

In diesem Kapitel soll anhand eines realen Beispiels gezeigt werden, welche Schritte zu befolgen sind, ausgehend von einem Modell oder einer digitalen Datei, um ein echtes gedrucktes Stück zu erhalten.

Das hier gezeigte Beispiel handelt von einem Erbe Reproduktionsprojekt. Es ergibt sich aus der Notwendigkeit, bestimmte Teile des Naturkundemuseums von Valencia blinden Menschen zugänglich zu machen. Konkret handelt das Projekt vom unteren Teil eines Tigerkiefers. Das Projekt beginnt mit dem 3D-Scannen des ursprünglichen Kiefers und erhält dann ein digitales Modell. Dieses Beispiel beginnt an diesem Punkt.





Abbildung 58: Digitales Modell, Ergebnis des 3D-Scannens. [83]

Was auch immer das Dateiformat ist, es muss in STL exportiert werden, wie es in anderen Kapiteln dieses Handbuchs gezeigt wurde.

Wie es in der vorherigen Abbildung fast einfach zu sehen ist, weist das Modell mehrere Fehler auf, die repariert werden müssen, wie beispielsweise der Zahnteil.

Dafür können mehrere Software verwendet werden. Der Prozess der Analyse und Reparatur wird hier mit frei zugänglicher Software erklärt. Zum Beispiel: Meshmixer, von Autodesk.

Bevor wir den Prozess der Analyse und Reparatur eines STL-Modells betrachten, wird darauf hingewiesen, dass dieses betrachtete Modell von einer bestimmten Software (speziell Meshlab) verarbeitet wurde, um die Dateigröße zu reduzieren. Das Modellnetz hatte eine sehr hohe und übermäßige Anzahl von Dreiecken, so dass diese Zahl verringert wurde und daher die Dateigröße. Dies ist ein Schritt, der nur wenige Male erforderlich ist, um zu implementieren, so wird es nur erwähnt. Für weitere Informationen darüber, wie die Anzahl der Dreiecke eines Netzes und damit die Dateigröße reduziert werden:

https://www.shapeways.com/tutorials/polygon_reduction_with_meshlab

Wie schon gesagt, wird das STL-Modell mit Meshmixer geöffnet, indem man auf Importieren klickt. Das erste, was gesehen werden kann, ist, dass die Modellausrichtung nicht die adäquate sein könnte. Es gibt keine Notwendigkeit, sich darüber Sorgen zu machen.



Meshmixer können Sie ändern, indem Sie auf Bearbeiten> Transformieren klicken. Außerdem werden wir von Meshmixer nicht drucken, daher wurde die Ausrichtung ungefähr angepasst, wie hier zu sehen ist:



Abbildung 59: Positionierung des Models im Meshmixer. [84]

Daraufhin wird eine allgemeine Analyse der Defekte des Stückes vorgenommen. Dazu wird die Inspektoroption im Abschnitt Analyse verwendet. Meshmixer erkennt und zeigt alle Fehler im Modell oder in der Datei an. Die verschiedenen Fehler werden in verschiedenen Farben dargestellt und durch Bälle und Pfeile angezeigt. Löcher im Netz werden in Blau angezeigt, nicht-mannigfaltige Punkte oder Kanten werden in Rot angezeigt, und getrennte Komponenten oder Elemente mit einem sehr kleinen Bereich werden in Magenta angezeigt. Es gibt jetzt zwei Möglichkeiten, entweder die Fehler einzeln zu reparieren, indem man auf den "Ball" klickt, oder auf Auto Repair All zu klicken und alles gleichzeitig zu reparieren.






Abbildung 60: Allgemeine Analyse im Meshmixer. [85]

In diesem Fall repariert die Software automatisch alle gefundenen Fehler. Wenn nicht, ist es möglich, andere Software zu verwenden und andere Analyse- und Reparaturprozesse durchzuführen.

Mit Meshmixer ist es auch möglich, andere Arten von Analysen durchzuführen, wie: Dicke, Stabilität, Orientierung und Positionierung auf der Druckbasis, usw.

An diesem Punkt ist das STL-Modell vollständig repariert und bereit für den nächsten Schritt. Wie zu sehen ist, hat das Programm jedes Loch in dem Netz geschlossen und es hat alle Defekte repariert. Es ist anzumerken, dass die Software diese Reparaturen automatisch ausführt und versucht, sich mehr oder weniger nahe an die Geometrie um den Defekt zu bringen. Wenn Löcher oder Lücken in dem Netz mit einer bestimmten Geometrie repariert werden sollen, ist es erforderlich, eine digitale Skulpturensoftware zu verwenden. Es ist richtig, dass Meshmixer eine digitale Skulpturoption hat, aber in diesem Beispiel wird es nicht erklärt, da es kein Ziel dieses Handbuchs ist.





Abbildung 61: Kiefer mit reparierten Löchern und Defekten. [86]

Jetzt, im Meshmixer, muss das reparierte und reparierte Modell exportiert oder erneut im STL-Format gespeichert werden.

Der nächste Schritt besteht darin, die Datei in eine Software zu laden, die mindestens die folgenden Dinge erlaubt:

- Auswählen einer Ausrichtung im Druckbett. Drehen und Bewegen des Modells.
- Skalierung des Modells.
- Wählen Sie die Qualität oder Schichthöhe.
- Auswahl der Füllung. Dichte unter anderem Problem.
- Generierung der benötigten Stützstrukturen.

Zusätzlich wird mit dieser Software auch der G-Code oder Maschinencode generiert. Dafür gibt es verschiedene kostenlose Software. Zum Beispiel Ultimaker Cura oder Slic3r. In diesem Beispiel wird Cura verwendet.

In Cura wird das reparierte Modell importiert. Jetzt ist es bequem, die Software so zu konfigurieren, dass das Druckbett der Maschine angezeigt wird. Cura hat eine sehr große Datenbank kommerzieller 3D-Drucker. Wenn sich die verwendete Maschine nicht in dieser Datenbank befindet, ist es auch möglich, sie in scratch zu formen.



Dieses Modell wird auf 60% skaliert. 0,2 mm ist die gewählte Schichtqualität. Eine Rasterfüllung von 15% Dichte wird ebenfalls gewählt. Automatisch werden Stützstrukturen überall erzeugt, und um eine gute Haftung für die erste Schicht zu erhalten, wird die "erste Schichtgeschwindigkeit" auf 20 mm / s eingestellt. Arbeitsmaterial wird ebenfalls gewählt: PLA. Schließlich wird der G-Code im Gerät gespeichert und durch Klicken auf "In Datei speichern" in den Drucker eingefügt.





ERASMUS+ 3D Printing Vet centres

Abbildung 63: Konfiguration und Parameter des Modells in Cura. [88]

An diesem Punkt ist es möglich, zum nächsten Schritt des Prozesses zu gehen: 3D-Druck selbst. Es ist nötig, zur Maschine zu gehen und, mit den entsprechenden Mitteln, den Druckauftrag zu starten. Die Maschine wird funktionieren, und es wird empfohlen, es von Zeit zu Zeit zu sehen, um zu sehen, ob alles richtig läuft. Es ist wichtig zu sagen, dass es sehr empfehlenswert ist, zu überprüfen, ob die erste gedruckte Schicht korrekt an dem Bett oder der Plattform haftet. Wenn nicht, wird die folgende Anleitung bereitgestellt: https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/#print-not-sticking-to-the-bed

Im nächsten Bild wird die Drucksequenz für das gegebene Beispiel gezeigt:





Abbildung 64: Kiefer Druckfolge. [89]

Der nächste Schritt ist offensichtlich, das gedruckte Stück zu extrahieren. Ein Spachtel mit abgerundeten Kanten wird verwendet, um die Druckplattform nicht zu zerkratzen und nicht zu beschädigen.



Abbildung 65: Stück Extraktionsprozess. [90]

Sobald das Stück von der Plattform entfernt worden ist, ist es Zeit für den Nachbearbeitungsschritt, der darin besteht, die Trägerstrukturen manuell und mechanisch zu entfernen und diejenigen Teile des Teils zu schleifen, die Markierungen aufweisen (beispielsweise von Stützstrukturen). Das Druckbett sollte für den nächsten Druckauftrag korrekt.





Abbildung 66: Stützstrukturen und Zangen. [91]



Abbildung 67: Stützstrukturen entfernen. [92]

Wie erwähnt, ist es sehr bequem, unter anderem die Markierungen der Stützstrukturen zu

schleifen.

Am Ende ist das Endergebnis des Stückes das folgende:





Abbildung 68: Endergebnis. [93]

Wenn das Ergebnis zu irgendeinem Zeitpunkt des Druckvorgangs oder am Ende des Druckvorgangs nicht gut ist oder einige Fehler und Schwundwerte zu sehen sind, kann die folgende Anleitung sehr hilfreich sein, um einige Druckparameter oder Parameter des Druckers zu konfigurieren. Drucker: <u>https://www.simplify3d.com/support/print-quality-</u> troubleshooting/





- [1] Was ist Additive Manufacturing? Quelle: <u>https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing</u>
- [2] Scheme 1: Verfahren und Herstellungstechniken. Quelle: KIT
- [3] Abbildung 1: FDM Drucker. Quelle: <u>https://proto3000.com/assets/uploads/Images/ProductImages/MB05_REP_01B_Hero.png</u>
- [4] Abbildung 2: SLA Drucker. Quelle: <u>http://www.rs-online.com/designspark/rel-assets/ds-</u> assets/uploads/images/5630ebfd9a5c4cd48a521dba0ab5c436Formlabs%20Double%20Imag <u>e.png</u>
- [5] Abbildung 3: SLS Drucker. Quelle: <u>https://www.3dsystems.com/sites/default/files/styles/thumbnail_twothirds_size/public/2017</u> <u>-02/sPro_140_Angle_940px_tn.png?itok=K0J3Xo_w</u>
- [6] Wie funktioniert 3D-Druck? Quelle: <u>https://www.createeducation.com/about-</u> us/introduction/
- [7] Abbildung 4: Druckprozess. Quelle: <u>KIT</u>

[8] Rapid Prototyping Technologie für die Entwicklung neuer Produkte. 2016. Quelle: <u>http://ijiset.com/vol3/v3s1/IJISET_V3_I1_39.pdf</u>

[9] Abbildung 5: Prototypen eines Skibrillenrahmens mit FDM-, SLA- und SLS-Technologie (von links nach rechts). Quelle: <u>https://formlabs.com/de/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/</u>

[10]Abbildung 6: 3D Druck Technologien im Vergleich. Quelle: <u>STP</u>

- [11] Universe Berkeley: Mechanical Engineering Student Access Machine Shop: Stratus Dimensions Fused Deposition Modelling.
- [12]Abbildung 7: FDM Technologie. Quelle: <u>https://i.materialise.com/blog/3d-printing-</u> <u>technologies-and-materials/</u>
- [13]F. Kunz, A. A. Jorg, L. Chaabane: Innovation Infrastruktur & Dienstleistungen. Switzerland Innovation Park Biel. 2017.
- [14]FDM Drucke. 2017. Quelle: <u>https://www.sculpteo.com/en/glossary/fdm-fused-deposition-</u> <u>modeling-definition/</u>
- [15]Oberflächenmodifizierung von Fused Deposition Modeling ABS zur Ermöglichung eines schnellen Prototyping von biomedizinischen Mikrobauteilen. 2013. Quelle: <u>http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401361300006X</u>
- [16]Gerüstdesign und In-vitro-Studie von osteochondraler Coculture in einem dreidimensionalen, porösen Polycaprolacton-Gerüst, hergestellt durch Fused Deposition Modeling. 2004. Quelle: <u>http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/10763270360697012</u>
- [17]FDM-Technologie 3D-Druck langlebige Teile mit echten Thermoplasten. 2017. Quelle: http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology
- [18]Abbildung 8: FDM Vorteile. 2016. Quelle: <u>http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-</u> <u>modeling</u>
- [19]Abbildung 9: SLS Technologie. 2017. Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering#Technology



- [20]Selective laser sintering. 2017. Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering#Technology
- [21]Wie funktioniert der puderbasierte 3D-Druck? Quelle: https://imaterialise.helpjuice.com/design-printing/powder-based-3d-printing/
- [22]3D-Drucktechnologie / Arten von 3D-Druckern: SLS. 2016. Quelle: <u>https://all3dp.com/types-of-3d-printer-technology-explained/#SLM</u>
- [23]Abbildung 10: Schuh Silhouette mit SLS erstellt. Quelle: <u>http://ibdesigntech.com/3-5-rapid-prototyping-selective-laser-sintering-sls-5/</u>
- [24]Abbildung 11: Harz 3D Drucker Teilübersicht. Quelle: <u>https://www.tth.com/wp-</u> <u>content/uploads/SLA-Process.jpg</u>
- [25]Abbildung 12: Harz Eigenschaften. 2011. Quelle: <u>https://all3dp.com/1/best-resin-dlp-sla-3d-</u> printer-kit-stereolithography/
- [26] Abbildung 13: Photometrische 3D-Drucke.
- [27]Schema 2: Produktionsprozesse im 3D Druck. Quelle: CETEM
- [28]Abbildung 14: Teil modelliert mit Rhinoceros. Quelle: <u>https://www.sculpteo.com/es/tutoriales/preparar-su-modelo-para-la-impresion-3d-con-</u> <u>rhinoceros/</u>
- [29] Abbildung 15: Reverse- Engineering-Prozess. [27]. Quelle: <u>CETEM</u>
- [30]Abbildung 16: Beispiele von Teilen aus dem Thingiverse Repository. Quelle: <u>https://www.thingiverse.com/</u>
- [31]Abbildung 17: Wie STL Datei funktioniert. Quelle: <u>https://createc3d.com/wp-</u> <u>content/uploads/2014/12/emendo.png</u>
- [32] Abbildung 18: Export der STL Datei in verschiedenen Software. Quelle: https://www.sculpteo.com/en/tools/transferring-3d-file/
- [33] Abbildung 19: Dickenanalyse (1 Millimeter) mit Meshmixer analysiert. Quelle: CETEM
- [34] Abbildung 20: Winkelanalyse. Quelle: <u>CETEM</u>
- [35]Abbildung 21: Unterstützungsstrukturen. Quelle: <u>https://www.geeky-gadgets.com/wp-</u> content/uploads/2015/01/Form-1-3D-Printer-Update1.jpg
- [36]Abbildung 22: Unterschiedliche Arten von Stützkonstruktionen. Quelle: <u>http://www.reppersdelight.spacymen.com/public/RD_images/MeshMixer_support3.jpg</u> <u>https://i.ytimq.com/vi/GThbJZZvRFY/maxresdefault.jpg</u> <u>https://www.simufact.com/files/Medien/_2Produkte/2.3_Simufact_Additive/Support-</u> <u>settings_more_support.png</u>
- [37]Abbildung 23: Unterschiede zwischen einem Teil mit optimierten Strützstrukturen (links) und einem nicht optimierten Teil (rechts). Unterschiede zwischen den Druckzeiten sind ebenfalls ersichtlich zu sehen. Quelle: <u>https://www.3ders.org/images/skin-frame-structure-3d-</u> <u>printing-material-6.png</u>
- [38]Abbildung 24: Unterschiedliche Füllgrade. Quelle: <u>http://my3dmatter.com/wp-</u> <u>content/uploads/2015/03/infillpercentimage.png</u> <u>https://3dplatform.com/wp-content/uploads/2015/08/3DP-Infill-Percentage-1024x745.jpg</u>



- [39]Abbildung 25: Verschiedene Füllmuster. Quelle: <u>https://i.ytimq.com/vi/BMWTK2ZqJCM/maxresdefault.jpg</u> <u>https://assets.pinshape.com/uploads/image/file/98145/container_display-tray-for-infill-</u> pattern-and-infill-density-3d-printing-98145.jpg
- [40] Abbildung 26: Qualitätsunterschiede im gleichen Stück, je nach Ausrichtung. Quelle: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/print-orientation/photo2.jpg
- [41]Abbildung 27: Zugbelastung. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/print-orientation/visual2.png</u>
- [42]Abbildung 28: Unterschiedliche Schichtdicken. Quelle: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/impact-layer-height-3d-print
- [43]Abbildung 29: Zwei verschiedene Schichthöhen. Quelle: http://wiki.ikaslab.org/images/thumb/8/8c/Altura de capa.jpg/700px-Altura de capa.jpg
- [44] Abbildung 30: Detail der Schichten eines Stückes. Quelle: <u>https://i.vtimg.com/vi/-KS_6P8tHZ4/maxresdefault.jpg</u>
- [45]Abbildung 31: Ebenen und Pfad. Quelle: <u>http://domoticx.com/wp-content/uploads/cura-</u> <u>screen.jpg</u>
- [46]Abbildung 32: Entnahme. Quelle: <u>https://i.ytimg.com/vi/1T5BdRFlCd8/maxresdefault.jpg</u> <u>https://d3v5bfco3dani2.cloudfront.net/photo/image/1300x0/58ee1eb0f407c/SDB2017-04-</u> <u>11_0001-61.JPG</u>
- [47]Abbildung 33: SLA-Extraktionsverfahren. Quelle: <u>https://www.3dnatives.com/es/wp-</u> <u>content/uploads/sites/4/SLA_Technology.jpg</u>
- [48] Abbildung 34: SLS-Extraktionsverfahren. Quelle: <u>https://3dprint.com/wp-</u> <u>content/uploads/2016/04/Untitled48.png</u> <u>http://www.oceanz.eu/files/original/640/sls-professional-3d-printing-oceanz.jpg</u>
- [49] Abbildung 35: Nachbearbeitungsprozess. Quelle: <u>https://s3-eu-west-</u> <u>1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/fdm_post_processing/photo2.png</u>
- [50]Abbildung 36: Mechanisches Verfahren. Quelle: <u>https://formlabs.com/media/upload/ thumbs/Removing Supports copy.jpg.895x0 q80 cro</u> <u>p-smart.jpg</u>
- [51]Abbildung 37: Bad zum Entfernen der Stützstrukturen. Quelle: <u>https://3dprint.com/wp-</u> <u>content/uploads/2015/07/rinse3.png</u>
- [52]Abbildung 38: Verschiedene Veredelungen. Quelle: https://hackadaycom.files.wordpress.com/2013/02/rap.jpg?w=580
- [53]Schema 3: Produktionsprozess für den 3D-Druck. Quelle: CETEM
- [54] Abbildung 39: Verfahren zur Entwicklung eines 3D-Modells. Quelle: <u>KIT</u>
- [55] Tabelle 1: Software zum Entwerfen eines 3D-Modells. Quelle: KIT
- [56] Tabelle 2: Software zum Scannen eines 3D-Modells. Quelle: <u>KIT</u>
- [57] Tabelle 3: Software zum Testen, Orientieren und Reparieren eines 3D-Modells. Quelle: <u>KIT</u>
- [58] Abbildung 40: Reparieren einer STL-Datei. Quelle: <u>KIT</u>
- [59] Abbildung 41: Netfabb Premium Interface. Quelle: <u>KIT</u>



- [60] Abbildung 42: Öffnen einer 3D-Konstruktion mit Slic3r. Quelle: <u>KIT</u>
- [61]Abbildung 43: G-Code mit Slic3r. Source: <u>KIT</u>
- [62]Abbildung 44: Diagramm 3D-Druck-Workflow. Quelle: <u>KIT</u>
- [63]Druckmaterialien. 2017. Quelle: https://www.3dhubs.com/materials
- [64]Wie macht 3D-Druck Ihr Unternehmen zum Stärksten in der Wertschöpfungskette? 2006. Quelle: <u>http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report/\$FILE/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report.pdf</u>
- [65] Abbildung 45: Verwendete 3D-Druck Materialien (%). Quelle: <u>http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-alobal-3d-printing-report-2016-full-report.pdf</u>
- [66]Explanation of the graphic. Quelle: <u>http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-</u> <u>3d-printing-report-2016-fullreport/\$FILE/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report.pdf</u>
- [67] 3D Printing Trends Q4/2017. 2017. Quelle: https://f.3dhubs.com/yZqXoWzB88BhMHwG9fo3mV.pdf
- [68]Abbildung 46: 3D-Drucker Filament Trends: November 2017. Quelle: <u>https://www.filaments.directory/en/trends</u>
- [69] Abbildung 47: Legosteine aus ABS. Quelle: <u>https://www.matterhackers.com/articles/how-to-</u> <u>succeed-when-printing-with-abs</u>
- [70] Abbildung 48: Polyamid. Ein starkes und flexibles Material mit einem hohen Detaillierungsgrad. Quelle: <u>http://3dprintedinstruments.wikidot.com/materials#toc24</u>
- [71]Einschränkung im 3D-Druck. Quelle: http://informecotec.es/media/N30_Fabric_Aditiva.pdf
- [72]Tabelle 4: Vergleichstabelle. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-</u> knowledgebase/key-design-considerations-for-3d-printing/3d-printing-design-rules.jpg
- [73] Abbildung 49: FDM-gedrucktes Puzzlestück mit entfernter Unterstützung, die Oberflächenrauheit zeigt. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3d-printing/photo14.jpg</u>
- [74] Abbildung 50: Die Variation des Slicer-Programms gegenüber dem tatsächlichen Durchmesser der vertikalen Löcher ist auf die Kompression des extrudierten Profils zurückzuführen. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/keydesign-considerations-fdm-3d-printing/visual20.png</u>
- [75]Abbildung 51: Der Effekt des zunehmenden Überhangs (in Schritten von 5 Grad) auf die Druckqualität. Max. Winkel ist 70 Grad. Quelle: <u>https://s3-eu-west-</u><u>1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3d-</u> printing/photo13.jpg
- [76] Abbildung 52: Seitenansicht des Elefantenfußes, die auf den Basisschichten eines FDM-Drucks auftreten kann. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-</u> <u>knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3d-printing/visual6.png</u>
- [77] Abbildung 53: Druck von vertikalen Stiften mit abnehmendem Durchmesser (von 25 bis 5 mm), der den oberen Durchmesser des Druckes zeigt, der zu klein wird, um genau zu drucken. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3d-printing/photo15.jpg</u>
- [78]Abbildung 54: Aufteilen eines Modells, um Support zu vermeiden. Quelle: <u>https://s3-eu-</u> west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3dprinting/visual10.png



- [79] Abbildung 55: Neuausrichtung der horizontalen Achsenlöcher kann die Unterstützung überflüssig machen. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-</u> knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3d-printing/visual18.png
- [80]Abbildung 56: Bau Richtung. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-fdm-3d-printing/visual13.png</u>
- [81]Abbildung 57: Ebenen mit Radius. Quelle: <u>https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-fam-3d-printing/visual9.png</u>
- [82]Wie Teile für FDM 3D-Druck entwerfen wird. Quelle: <u>https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing</u>
- [83] Abbildung 58: Digitales Modell, Ergebnis des 3D-Scannens. Quelle: <u>CETEM</u>
- [84] Abbildung 59: Positionierung des Models im Meshmixer. Quelle: <u>CETEM</u>
- [85] Abbildung 60: Allgemeine Analyse im Meshmixer. Quelle: <u>CETEM</u>
- [86] Abbildung 61: Kiefer mit reparierten Löchern und Defekten. Quelle: <u>CETEM</u>
- [87] Abbildung 62: Geladenes Modell in Cura. Quelle: <u>CETEM</u>
- [88]Abbildung 63: Konfiguration und Parameter des Modells in Cura. Quelle: <u>CETEM</u>
- [89]Abbildung 64: Kiefer Druckfolge. Quelle: <u>CETEM</u>
- [90] Abbildung 65: Stück Extraktionsprozess. Quelle: CETEM
- [91]Abbildung 66: Stützstrukturen und Zangen. Quelle: CETEM
- [92]Abbildung 67: Stützstrukturen entfernen. Quelle: CETEM
- [93]Abbildung 68: Endergebnis. Quelle: <u>CETEM</u>