



FDM 3D Druck

Leitfaden Modellbau

Inhalt

01 – Einführung

02 - FDM, SLA und SLS im Vergleich

03 – FDM Druck-Prinzip

04 - Einflussfaktoren

05 - Die Grenzen des Machbaren

06 - Hinweise für den Modellbau

07 - Dateivorbereitung

STAND 21.10.2024

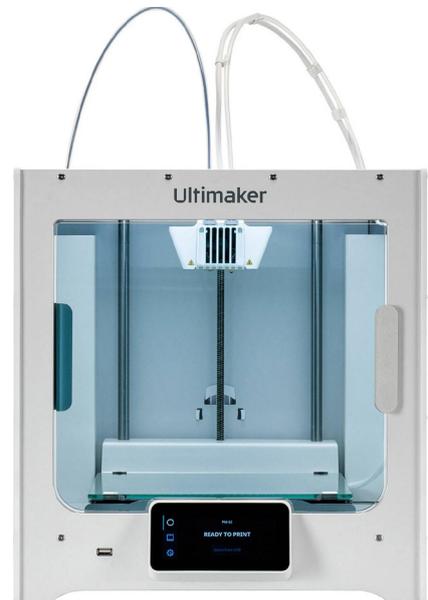
Unsere 3D Drucker



FDM
Bambulab X1E



FDM
Ultimaker S5



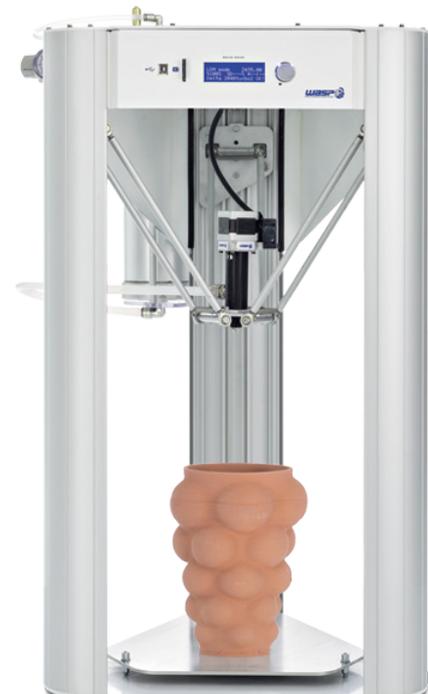
FDM
Ultimaker 3



SLA / MSLA
Form 4



SLS
Fuse 1



LDM
Delta Wasp 2040

Abb.1 Übersicht der 3D Drucker im Fablab (nicht maßstabsgetreu)

01 - Einführung

3D Druck ist ein Fertigungsverfahren, bei welchem ein digitales Modell additiv, zumeist Schicht für Schicht, als physisches Modell aufgebaut wird.

Deshalb werden alle 3D Druckverfahren auch unter dem Sammelbegriff **additive Fertigungsverfahren** zusammengefasst.

3D Druck setzt den traditionellen subtraktiven wie Fräsen, Laser- oder Wasserstrahlschneiden etc. sowie den formenden Fertigungsverfahren wie Spritzguss eine gänzlich neue Fertigungslogik entgegen: Beim 3D Druck wird **nur das tatsächlich benötigte Material auf eine Bauplattform gedruckt** und es werden keine teuren Formen oder Werkzeuge zur Produktion benötigt.

Ausgangspunkt für jeden Druck ist ein **3D Modell**, welches mittels einer speziellen **Slicing-software** in zweidimensionale Schichten aufgeteilt wird. Aus der Form der Schichten wird dann der maschinenspezifische

G-Code generiert und das Modell je nach Druckverfahren gedruckt.

Heute können fast alle Materialien, ob mineralisch, biobasiert oder Kunststoff bis hin zu Metallen, mit unterschiedlichen 3D Druck Verfahren verarbeitet werden.

Im Fablab bieten wir die 3D Druckverfahren FDM, LDM, SLA und SLS an.

Jedes 3D Druckverfahren hat seine eigenen Stärken, Schwächen und Anforderungen und eignet sich für unterschiedliche Anwendungen. Die nachfolgende Tabelle fasst einige wichtige Eigenschaften und Aspekte der Druckverfahren FDM, SLA und SLS zusammen und soll dabei helfen, die passende Technologie für die jeweilige Anwendung auszuwählen.

Das Druckverfahren LDM (Liquid Deposition Modeling) wird im direkten Vergleich nicht aufgeführt. Dieses spezielle Verfahren ist mit unserem Delta Wasp

2040 3D Drucker möglich (siehe Abb. 1), der für das 3D Drucken von Pasten wie Porzellanmasse geeignet ist.

In diesem Leitfaden wird das FDM Verfahren und die Besonderheiten, welche bei der Datenvorbereitung zu beachten sind, erläutert.

02 - FDM, SLA und SLS im Vergleich

	FDM - Schmelzschichtung	SLA - Stereolithographie	SLS - Selektives Lasersintern
Auflösung	●●○○○	●●●●●	●●●●○
Genauigkeit	●●●●○	●●●●●	●●●●●
Oberflächengüte	●●○○○	●●●●●	●●●●○
Durchsatz	●●●○○	●●●●○	●●●●●
Komplexe Designs	●●●○○	●●●●○	●●●●●
Anwendungen	Kostengünstige, schnelle Prototypenfertigung Einfache Proof-of-Concept-Modelle	Funktionsfähige Prototypen Urmodell-, Formen- und Werkzeugbau, Prototypenfertigung und Guss, Modellbau	Funktionsfähige Prototypen Kleinserienfertigung, Bridge Manufacturing oder kundenspezifische Fertigung
Fertigungsvolumen (Breite x Tiefe x Höhe)	BLX1E: 256x256x256 mm UMS5: 330x240x300 mm UM3: 233x215x200 mm	Form2: 145x145x175 mm Form4: 200x125x210 mm	Fuse1+: 165x165x300 mm
Materialien bezogen auf die Druckverfahren im Allgemeinen	Standardthermoplaste wie ABS, PLA und deren Mischungen.	Verschiedene Harze (Duroplaste). Standard-Kunstharze, technische Kunstharze (ABS-ähnlich, PP-ähnlich, flexibel, wärmebeständig), Gusskunstharze, biokompatible Kunstharze (zahnmedizinische und medizinische Anwendungen) Pures Silikon und Keramik.	Technische Thermoplaste. PA 11, PA 12, glas- oder carbonfaserverstärkte Nylonverbundstoffe, Polypropylen, TPU (Elastomer)

03 - FDM Druck-Prinzip

Beim FDM Verfahren wird ein thermoplastischer Kunststoff oder ein anderes schmelzbares Material in einem Extruder verflüssigt und durch eine Düse mit definiertem Durchmesser gepresst bzw. extrudiert. (siehe Abb. 3) Die Düse wird CNC gesteuert über dem Druckbett bewegt und das flüssige Material präzise positioniert. Bei Raumtemperatur bzw. durch Gebläseluft kühlt das extrudierte Material schnell ab, sodass die nächste Schicht darüber gedruckt werden kann. So entsteht Schicht für Schicht das Abbild des digitalen Modells. Bei der Extrusion verlässt das verflüssigte Material im runden Profil die Düse. Um eine gute Anhaftung zwischen den einzelnen Schichten zu erreichen wird das Material nicht einfach auf die vorige Schicht abgelegt, sondern aufgestrichen. Dies wird erreicht indem der Abstand von Düse zu vorigem Material kleiner als der Düsendurchmesser gehalten wird. Bei der gängigen 0,4 mm Düse wird daher typischerweise eine Layerhöhe zwischen 0,05 und 0,3mm verwendet. Durch das Aufstreichen quillt im Randbereich immer etwas Material nach Außen. Die so sich ausbildenden horizontalen Linien entlang der Schichten sind das auffälligste Merkmal

von FDM 3D Druckteilen. Aktuelle Software und eine dem Druckteil angepasste Layer-schichtstärke minimieren diese Linien, perfekte homogene Wandungen sind jedoch im FDM Druck nur durch Nacharbeit wie Schleifen oder Bedämpfen zu erreichen. Gleichzeitig ist das Verfahren aufgrund seiner niedrigen Kosten und seiner Vielseitigkeit in Bezug auf Material und Maßstab sehr weit verbreitet. So wird das Verfahren zur Herstellung von Funktionsmodellen und Prototypen im Produkt-design und Maschinenbau bis hin zur Produktion von Stühlen oder Leuchten in Kleinserie eingesetzt. Da die Technologie im letzten Jahrzehnt große Aufmerksamkeit erfahren und die Hard- und Software kontinuierlich weiterentwickelt wurde, erreichen auch bereits sehr kostengünstige Geräte gute Druckergebnisse. Die von uns eingesetzten FDM Drucker der Marke Ultimaker und BambuLab sind für den Einsatz im Modellbau sehr gut geeignet. Damit das Ergebnis überzeugend wird, gilt es jedoch sich mit den Stärken und Schwächen des Verfahrens auseinanderzusetzen und abzuwägen, welche Teile des Modells wie 3D gedruckt werden sollen.

Vorteile des Verfahrens:

- + Sehr kostengünstig
- + Relativ schnell
- + Gut für Funktionsmodellbau

Nachteile des Verfahrens:

- Sichtbarer Schichtaufbau
- Begrenzte Genauigkeit
- Neigung zu Delamination
- Anisotrope Eigenschaften
- Häufig Stützmaterial notwendig
- Oberflächengüte ist niedrig

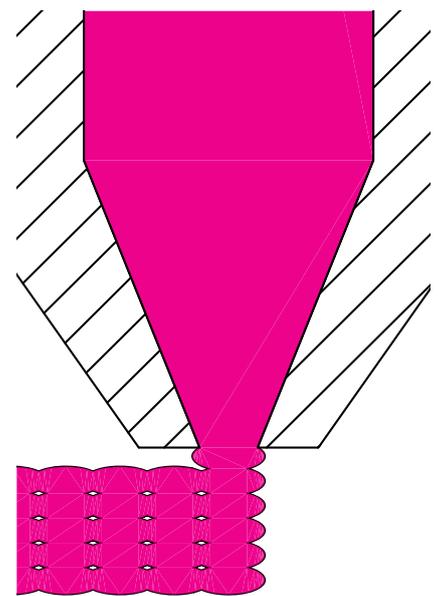


Abb.2 FDM Layer Detail

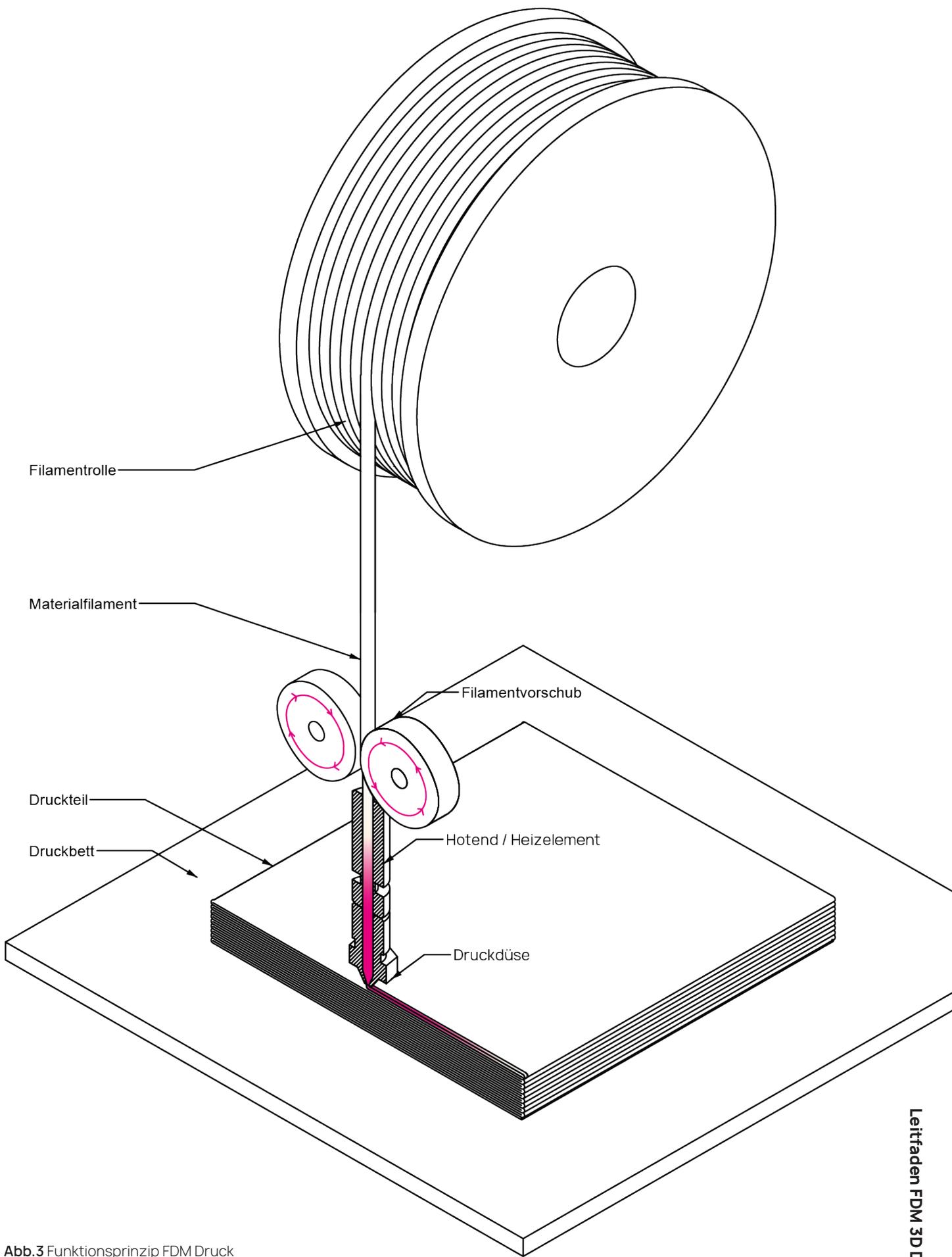


Abb.3 Funktionsprinzip FDM Druck

04 - Einflussfaktoren

Bauteildichte

Während bei subtraktiven Fertigungsverfahren jede zusätzliche Materialabnahme mit Aufwand verbunden ist, steigt beim 3D Druck die Druckzeit und der Materialaufwand je massiver ein Bauteil ausgeführt wird. Dies wirkt sich auch auf die anfallenden Kosten aus. Die Slicing Software hat verschiedene Funktionen zur Materialeinsparung integriert:

Wandstärke

Die Wandstärke eines 3D Druckteils (siehe Abb. 5) wird gemäß dem angedachten Einsatzzweck des Druckteils ausgewählt. Für reine Anschauungsobjekte ohne Infill reichen 0,8 mm Wandstärke. Werden Druckteile für Funktionsmodelle benötigt, müssen wir bei Auftragsvergabe darüber informiert und die gewünschte Wandstärke angegeben werden.

Infill

Zwischen den massiven Wänden eines Bauteils füllt die Slicing Software die Zwischenräume mit dem sogenannten Infill. Dabei handelt es sich um eine variable automatisch generierte, zumeist schwammartige Struktur. Das Infill steift das Druckteil aus, ohne dabei selbst viel Material zu verbrauchen.

Die Struktur und die Dichte des Infills kann angepasst werden (Abb. 4). Für den Modellbau verwenden wir zumeist eine Infill Dichte von 10-15 %. Wird ein höherer Füllgrad, massive oder hohle Bauteile benötigt, müssen wir darüber bei Auftragsvergabe informiert werden, damit wir die Struktur und die Infill Dichte anpassen können.

Layerhöhe

Die Layerhöhe gibt an, wie hoch jede einzelne Schicht gedruckt wird. Sie entscheidet darüber, wie fein ein Druck in der Horizontalen aufgelöst wird. Gleichzeitig ist die Layerhöhe aber auch ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Druckdauer. Je niedriger die Layerhöhe, desto höher die Druckdauer. Daher entscheiden wir in Abhängigkeit der Geometrie, welche Layerhöhe wir verwenden. Bei einfachen als Profil extrudierten Massenmodellen kann in der Regel problemlos eine Layerhöhe von 0,2-0,3 mm verwendet werden. Verfügt das Modell über Schrägen und oder Radien, kann es von einer niedrigen Layerhöhe profitieren. Daher drucken wir z.B. feine Bauteile auch bis zu einer minimalen Layerhöhe von 0,08 mm. Soll eine bestimmte Layerhöhe verwendet werden, bitten wir darum, dies bei Auf-

tragserteilung mitzuteilen. Bei Funktionsteilen ist zusätzlich zu beachten, dass eine höhere Schichtstärke auch zu stabileren Druckteilen führt. Grund hierfür ist, dass der Übergang zwischen zwei Schichten nie die Festigkeit wie das massive Material erreicht (siehe auch Abb. 2 Seite 4).

Layerorientierung

Ein wesentlicher Nachteil des FDM Drucks ist, dass die Haftung zwischen den einzelnen Layerschichten nie die Festigkeit des Ausgangsmaterials erreicht. Daher sind FDM gedruckte Bauteile parallel zu den Layerschichten anfällig für Delamination. Vor allem bei Funktionsteilen, die einer höheren Belastung ausgesetzt sind, ist daher darauf zu achten, dass das Druckteil so auf dem Druckbett orientiert wird, dass die Layerschichten parallel zur Hauptbelastungsrichtung ausgerichtet werden. So wird der linke, liegend gedruckte Winkel in Abb. 7 in seiner Hauptbelastungsrichtung wesentlich mehr Last aufnehmen können als der rechte, stehend gedruckte. Auch bei Sichtteilen muss die Layerorientierung beachtet werden. Einerseits sind die einzelnen Schichten als Linien im Druckteil nachher sichtbar,

andererseits lässt sich durch die Ausrichtung von Druckteilen auch die Auflösung von Druckteilen mit Rundungen und Radien verbessern. Wenn eine bestimmte Ausrichtung der Modelle gewünscht ist, müssen wir bei Auftragsvergabe darüber informiert werden.

Stützmaterial

Je nach Bauteilgeometrie muss zusätzlich zum eigentlichen Druckteil eine Stützstruktur

mitgedruckt werden. Grund hierfür ist, dass das verflüssigte Material, nachdem es die Druckdüse passiert hat, einige Zeit benötigt, bis es so weit abgekühlt ist, dass es sein eigenes Gewicht tragen kann. Der zusätzliche Support stützt den eigentlichen Druck, sodass Überhänge kleiner 45° und lange Brücken gedruckt werden können. Nach dem Druck muss das Stützmaterial entfernt und die Kontaktstellen manuell nachbe-

arbeitet werden. Wir versuchen in der Regel Stützmaterial sparsam einzusetzen, da so weniger Nacharbeit anfällt, Material gespart wird und die Druckzeit geringer ist. Überhänge mit einem Winkel größer 45° und Brücken bis zu einer Länge von 10 mm benötigen in der Regel kein Stützmaterial (Abb. 6). Gerade bei funktionalen Drucken kann durch Geometrieoptimierung häufig auf Stützmaterial verzichtet werden.

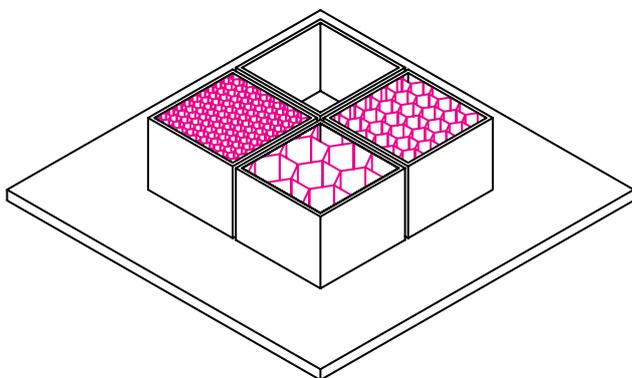


Abb.4 Infill Dichten

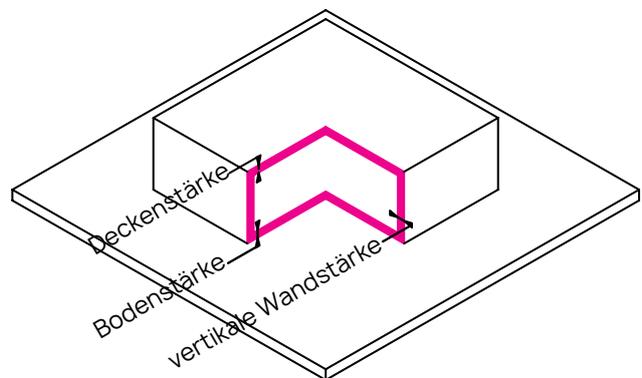


Abb.5 Wandstärken 3D Druck

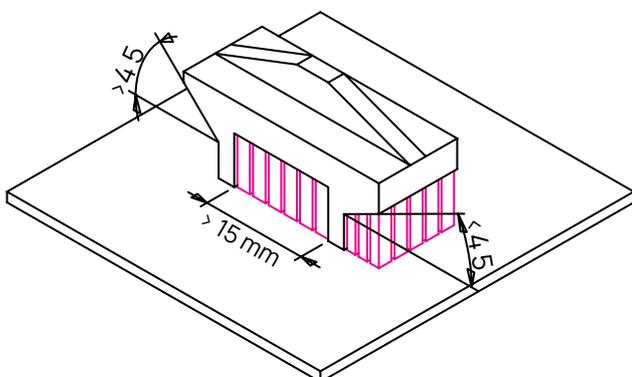


Abb.6 Stützmaterial Einsatz

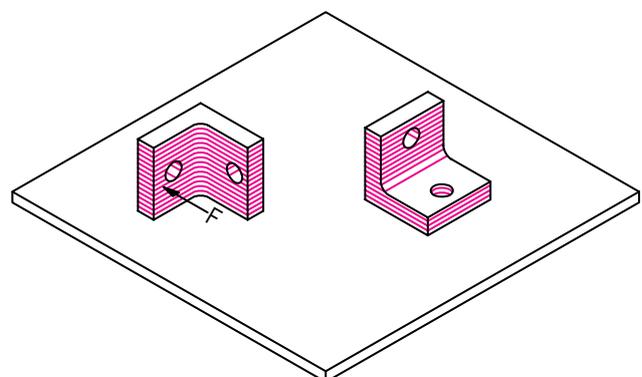


Abb.7 Belastungsgerechte Druckteilorientierung

05 - Die Grenzen des Machbaren

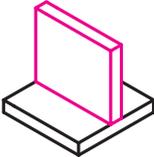
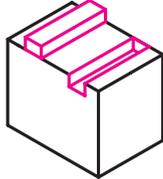
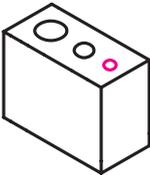
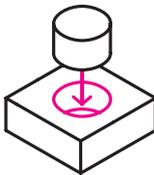
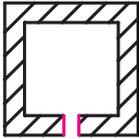
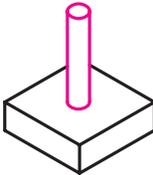
	Supported walls	Unsupported walls	Support & overhangs	Embossed & engraved details	Horizontal bridges
	Walls that are connected to the rest of the print on at least two sides.	Unsupported walls are connected to the rest of the print on less than two sides.	The maximum angle a wall can be printed at without requiring support.	Features on the model that are raised or recessed below the model surface.	The span a technology can print without the need for support.
					
Fused Deposition Modeling	0.8 mm	0.8 mm	45°	0.6 mm wide & 2 mm high	10 mm
Stereo-lithography	0.5 mm	1 mm	support always required	0.4 mm wide & high	
Selective laser sintering & Multi jet fusion	0.7 mm			1 mm wide & high	

Abb.8 Design Rules for 3D Printing von 3D Hubs, Übersicht zu den 3D Druckverfahren FDM, SLA, SLS

Holes	Connecting /moving parts	Escape holes	Minimum features	Pin diameter	Tolerance
The minimum diameter a technology can successfully print a hole.	The recommended clearance between two moving or connecting parts.	The minimum diameter of escape holes to allow for the removal of build material.	The recommended minimum size of a feature to ensure it will not fail to print.	The minimum diameter a pin can be printed at.	The expected tolerance (dimensional accuracy) of a specific technology.
					
Ø2 mm	0.5 mm	/	2 mm	3 mm	±0.3% (lower limit ±0.3 mm)
Ø0.5 mm	0.5 mm	4 mm	0.2 mm	0.5 mm	±0.2% (lower limit ±0.13 mm)
Ø1.5 mm	0.3 mm for moving parts & 0.1 mm for connections	5 mm	0.8 mm	0.8 mm	±0.3% (lower limit ±0.3 mm)

06 - Hinweise für den Modellbau

Bei der Konstruktion von 3D Druckteilen gibt es, wie weiter oben beschrieben, einige Regeln und Besonderheiten des Verfahrens zu beachten. Wenn im Rahmen des Modellbaus mechanisch nicht belastete Teile benötigt werden, kann der 3D Druck häufig mit wenigen Mitteln vereinfacht werden, um mit weniger Aufwand gute Ergebnisse zu erreichen.

Hohl Drucken

Bei Modellen, die nicht mechanisch belastet werden, kann es eine Option sein, die Modelle hohl zu drucken (siehe Abb. 9). In Rhino eignet sich der Befehl „_shell“ sehr gut dazu, den Boden von Objekten zu entfernen und diese mit einer einheitlichen Wandstärke zu versehen. Als Wandstärke eignet sich eine Stärke von 1,2 mm.

Geometrien aufteilen

Komplexere Entwürfe benötigen häufig Stützmaterial und sind je nach Geometrie schwierig als Ganzes zu drucken. Häufig hilft es hier, das Modell in für sich gut druckbare Teile aufzuteilen und einzeln zu drucken. Nach dem Druck werden die Teile bei Bedarf nachbearbeitet und mit Klebstoff montiert. Aus gestalterischen Gründen kann eine Kombination von 3D

gedruckten Teilen mit anderen Materialien sehr interessant sein.

Druckorientierung

Häufig reicht es zur Verbesserung des Druckergebnisses aus, das Modell in einer bestimmten Orientierung zu drucken, bei der weniger Überhänge oder lange zu überbrückende Bereiche entstehen und somit weniger Stützstruktur anfällt. Dabei ist zu beachten, dass die beim Druck vertikal liegenden Flächen eine andere Oberfläche als die horizontalen erhalten. Häufig ist das jedoch zu vernachlässigen oder die Oberflächen werden im Anschluss nachbearbeitet. Siehe hierzu auch Seite 6 bis 7 zur Layerorientierung.

Nachbearbeitung

Das von uns verwendete Druckmaterial PLA lässt sich durch Schleifen oder Lackieren nachbearbeiten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich um ein Thermoplast mit relativ niedrigem Schmelzpunkt handelt. Die beim maschinellen Schleifen mit Tellerschleifer eingebrachte Reibungswärme reicht häufig aus, dass die Oberfläche anschmilzt oder verschmiert. Daher wird empfohlen, Schleifarbeiten von Hand durchzuführen. Um zu vermeiden, dass

scharfe Kanten rund geschliffen werden, empfehlen wir Schleifpapier mit doppelseitigem Klebeband auf einer planen Unterlage zu fixieren und die Druckteile darauf abzuführen. Für gerundete, konvexe oder konkave Formen eignen sich weiche Schleifschwämme aus dem Lackierbedarf sehr gut zum Schleifen. Soll das Teil lackiert werden, muss ebenfalls geschliffen werden. Zum Lackieren eignet sich Acrylsprühfarbe. Hier gilt, weniger ist mehr. Lieber zwei bis drei dünne Durchgänge als einmal dick lackieren. Kleben funktioniert sehr gut mit sparsam verwendeten Gel Sekundenkleber.

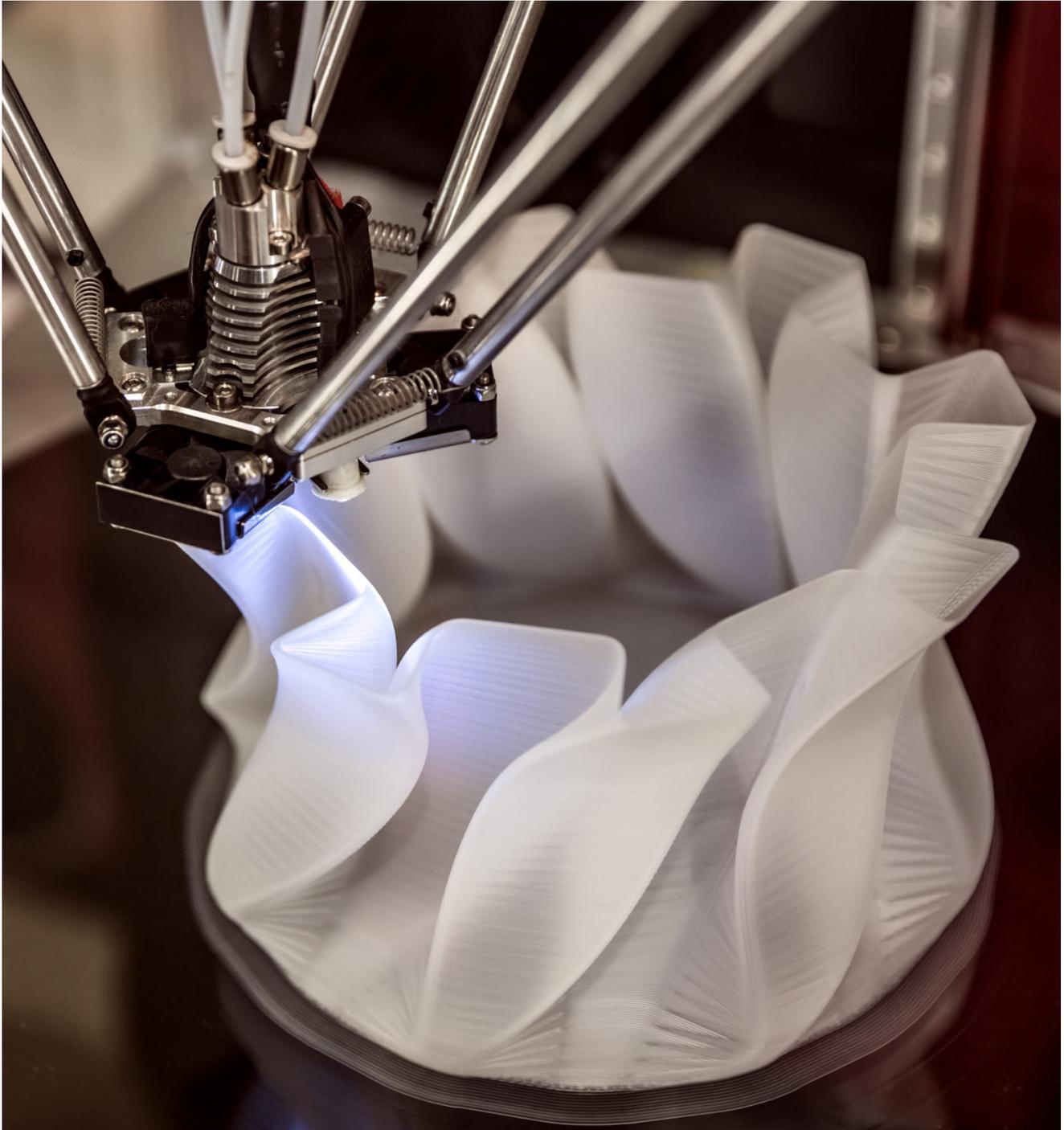


Abb.9 FDM Druck im Vasen-Modus

07 - Dateivorbereitung

Dateiexport

Wir benötigen für die Weiterverarbeitung der Daten eine STL Datei in der Einheit Millimeter. Der Maßstab sollte nach dem Export kontrolliert werden.

Maßstab

Unsere Maschinen arbeiten immer in Millimetereinheiten. Damit die Modellteile im richtigen Maßstab produziert werden, muss im entsprechenden Maßstab exportiert werden. Für die gängigen Modellbaumaßstäbe bedeutet das:

Maßstab	1000 mm real	=	Im Modell
1:1	1000 mm	=	1000 mm
1:5	1000 mm	=	200 mm
1:10	1000 mm	=	100 mm

Geschlossene Körper

Vor dem Dateiexport sollte geprüft werden, ob die Teile aus einem geschlossenen, wasserdichten Volumenkörper bestehen. In Rhino lässt sich das mit dem Befehl „_SelClosedPolySrf“ bzw. „_SelClosedMesh“ überprüfen. Unsere Slicingsoftware verfügt über eine Reparaturfunktion mit welcher sich offene Volumenkörper schließen lassen, die Ergebnisse sind jedoch nicht immer vorhersehbar.

Fertigungsvolumen

Die maximal druckbare Bauteilgröße (Breite x Tiefe x Höhe) variiert je nach FDM Drucker.

Bambulab X1E (BxTxH)
256x256x256 mm

Ultimaker S5 (BxTxH)
330x240x300 mm

Ultimaker 3 (BxTxH)
233x215x200 mm

Material

Bei der Auftragserteilung muss das gewünschte Material ausgewählt werden.

Bei dem FDM Druckverfahren kann PLA in den Farben weiß, grau oder schwarz ausgewählt werden.

Nach Absprache können weitere Materialien wie ABS, PETG, TPU usw. von uns gedruckt werden. Dafür bitte bei der Auftragserteilung Sondermaterial auswählen und bei Bemerkungen das gewünschte Material angeben. Bei Sondermaterialien ist es sehr wahrscheinlich, dass wir diese erst bestellen müssen.

Auf den Webseiten von Bambulab und Ultimaker sind die Materialien aufgeführt, die sich mit unseren 3D Druckern drucken lassen.