

# FDM 3D Druck

Leitfaden für den Modellbau

# Inhalt

01 – Einführung

02 – Das FDM Druck Prinzip

03 – Einflussfaktoren

04- Die Grenzen des Machbaren

05 - Hinweise für den Modellbau

06 - Dateivorbereitung

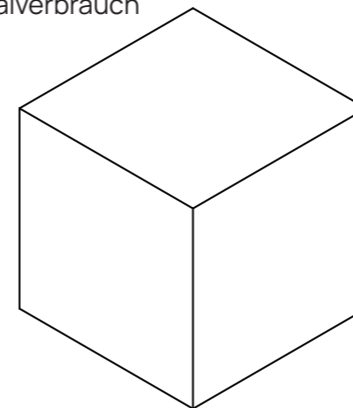
## 01 - Einführung

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 Fertigungsverfah-

ren 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 Slicingsoftware in zweidimensionale Schichten aufgeteilt wird. Aus der Form der Schichten wird

dann der maschinenspezifischer 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. In diesem Leitfaden das Fused Deposit Modeling - kurz FDM - Verfahren und die Besonderheiten, welche bei der Dateivorbereitung zu beachten sind, erläutert.

Materialverbrauch  
Fräsen



Materialverbrauch  
3d Druck

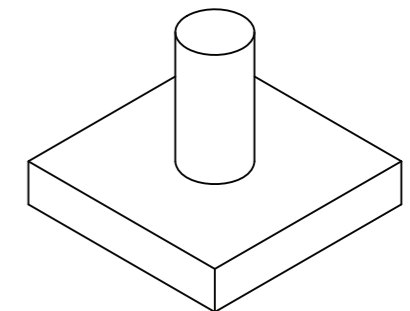
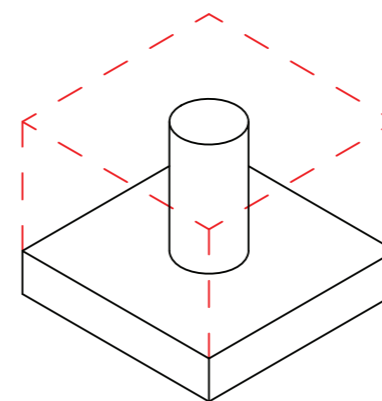
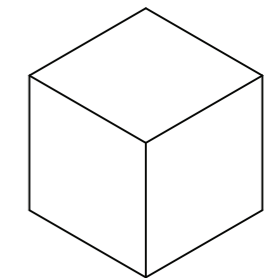


Fig.2 Gegenüberstellung Materialverbrauch additive und subtraktive Fertigung

Revision 02

# 02 - Das FDM Druckprinzip

## FDM Druckverfahren

Beim FDM Verfahren wird ein thermoplastischer Kunststoff oder anderes schmelzbares Material in einem Extruder verflüssigt und durch eine Düse mit definiertem Durchmesser gepresst bzw., extrudiert. (siehe Fig. 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.

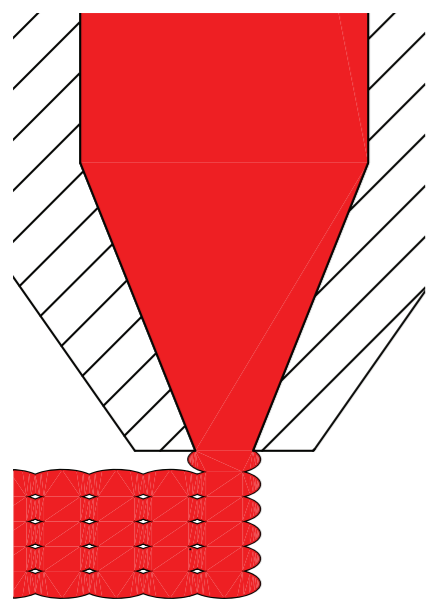


Fig.2 FDM Layer Detail

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 Layerschichtstärke 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 vielseitig in Bezug auf Material und Maßstab sehr weit verbreitet. So wird das Verfahren zur Herstellung von Funktionsmodellen und Prototypen im Produktdesign 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 Prusa FDM Drucker sind daher auch 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
- Darstellung komplexer dünnwandiger Strukturen

### Nachteile des Verfahrens

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

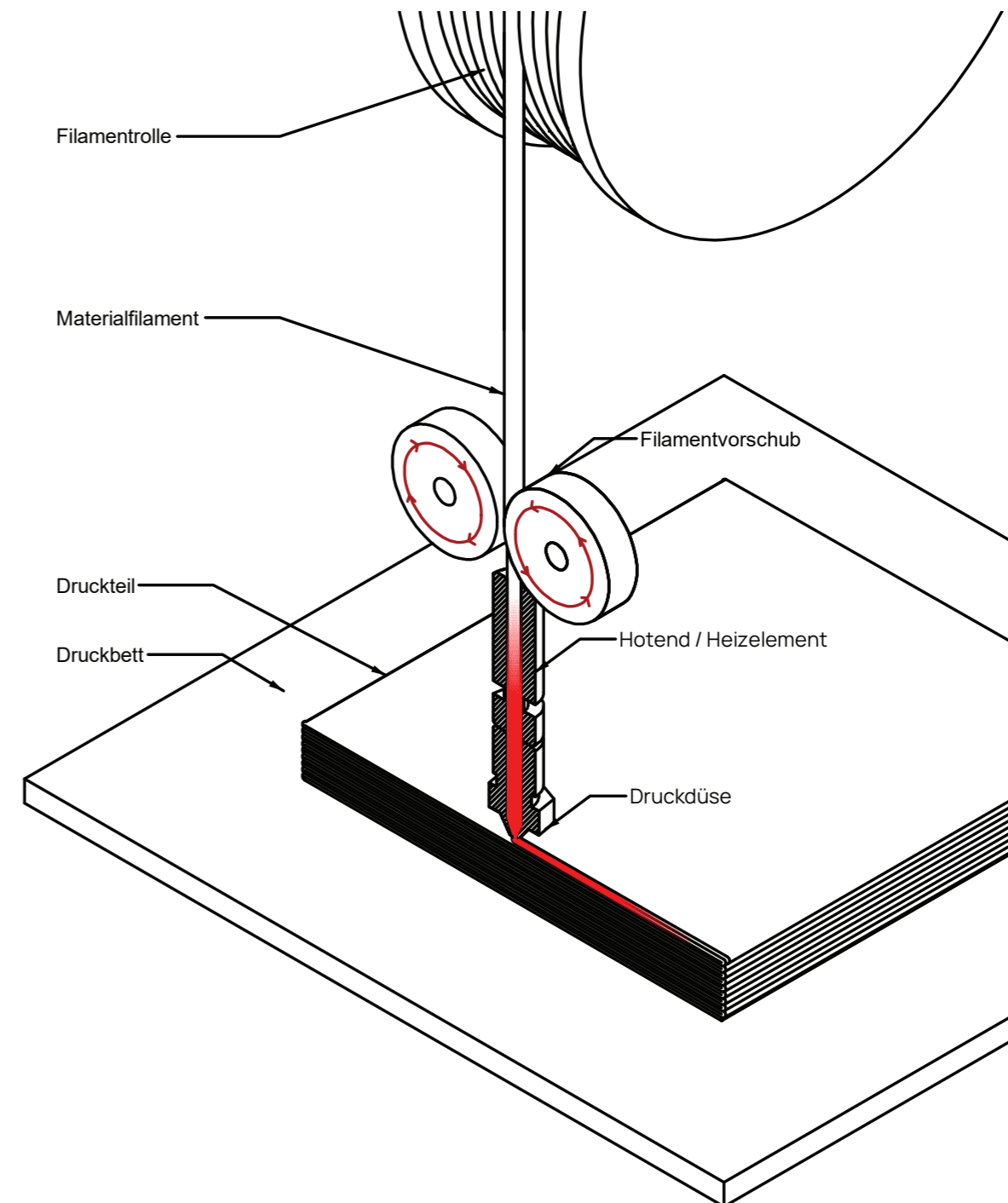


Fig.3 Funktionsprinzip FDM Druck

# 03 - Einflussfaktoren

## Die 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. Daher hat die Slicing Software verschiedene Funktionen zur Materialeinsparung integriert:

### Wandstärke

Die Wandstärke eines 3D Druckteils wird gemäß dem angedachten Einsatzzweck des Druckteils ausgewählt. Für reine Anschauungsobjekte ohne Infill reichen 0,8 mm Wandstärke. Boden und Deckel des Bauteils drucken wir standardmäßig mit 1,2 bzw. 0,8 mm Dicke. 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 automatische generierte zumeist schwammartige Struktur. Das Infill steift das Druckteil aus, ohne dabei selbst viel Material zu

verbrauchen. Die Dichte des Infills bzw. der Füllgrad kann variiert werden. (Fig. 4) Für den Modellbau verwenden wir zumeist einen Füllgrad von 10-15%. Wird ein höherer Füllgrad, massive oder hohle Bauteile benötigt, müssen wir darüber bei Auftragsvergabe informiert werden.

## 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 Fassadenbauteile auch bis zu einer minimalen Layerhöhe von 0,05 mm. Soll eine bestimmte Layerhöhe verwendet werden, bitten wir darum, dies bei Auftragserteilung 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 Fig. 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 belasteten Funktionsteilen 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 liegend gedruckte Winkel in Fig. 7 in seiner Hauptbelastungsrichtung wesentlich mehr Last aufnehmen können als der 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.

## 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 Brücke gedruckt werden können. Nach dem Druck muss das Stützmaterial entfernt und die Kontaktstellen manuell nachbearbeitet 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 kein Stützmaterial (Fig.6). Gerade bei funktionalen Drucken kann durch Geometrieoptimierung häufig auf Stützmaterial verzichtet werden.

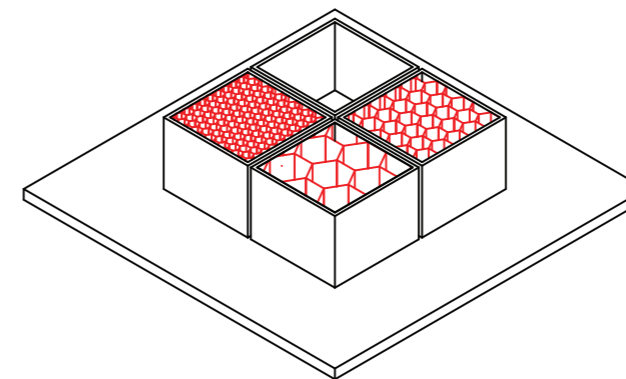


Fig.4 Infill Dichten

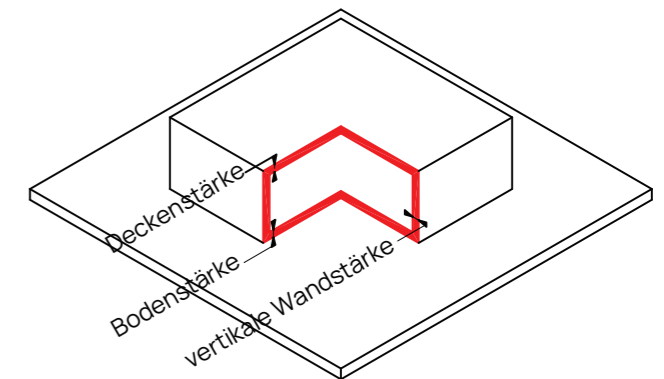


Fig.5 Wandstärken 3D Druck

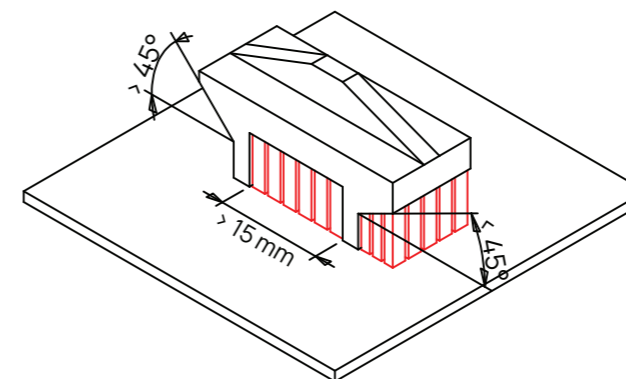


Fig.6 Stützmaterial Einsatz

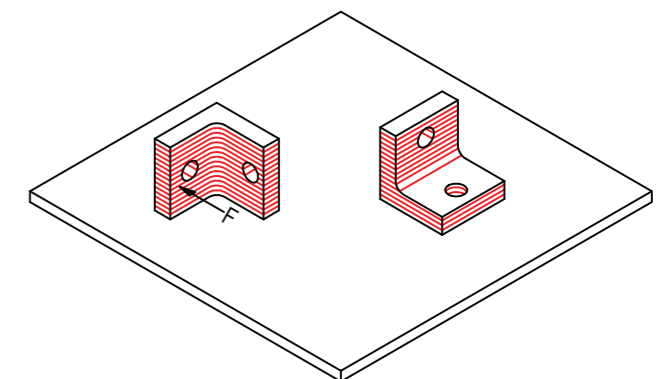


Fig.7 Belastungsgerechte Druckteilorientierung

# 04 - Die Grenzen des Machbaren

## Mindestwandstärke

Wir verwenden standardmäßig eine Düse mit 0,4 mm Durchmesser. Im Idealfall ist die Wandstärke ein Vielfaches des Düsendurchmessers. Die Mindestwandstärke liegt bei 0,8 mm. In Sonderfällen kann, wenn die Geometrie es zulässt, im sogenannten Vasenmodus ein hohles Bauteil auch eine Wandstärke von lediglich 0,4 mm erreicht werden.

## Minimale Detailgröße

Details wie Vertiefungen oder Erhöhungen sollten eine Mindestgröße vom 2x2 mm nicht unterschreiten. Ob feinere Strukturen dargestellt werden können, hängt von der Geometrie im Detail ab. Gerne drucken wir einen Ausschnitt aus eurem Modell, um zu prüfen, ob die Details gut dargestellt werden können

## Mindeststützengröße

Stützen als Elemente des Druckteils sollten mindestens 3x3 mm Querschnitt oder 3 mm Durchmesser aufweisen. Es ist im Detail zu klären, wie hoch diese gedruckt werden können.

## Mindestlochgröße

Gut druckbar sind Löcher ab einem Durchmesser größer 2 mm.

## Mindestwinkel

Mindestwinkel für Strukturen ohne Stützmaterial Überhänge mit einem Winkel zur Horizontalen größer als 45° benötigen kein Stützmaterial.

## Brückenlänge

Kurze horizontale Brücken können bis zu einer Länge von 10 mm problemlos ohne Stützmaterial gedruckt werden. Längere Brücken werden mit Stützmaterial gestützt.

## Mindestspiel

Wenn zwei 3d Druckteile ineinander beweglich gefügt werden sollen, addieren sich deren Drucktoleranzen, sodass ohne Nachbearbeitung ein Luftspalt 0,5 mm eingeplant werden sollte.

vgl. 3d HUBS (Hg.): Design rules for 3d printing.

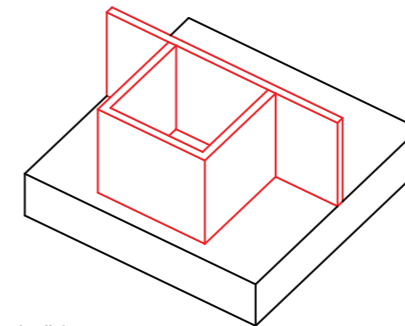


Fig.8 Mindestwandstärken

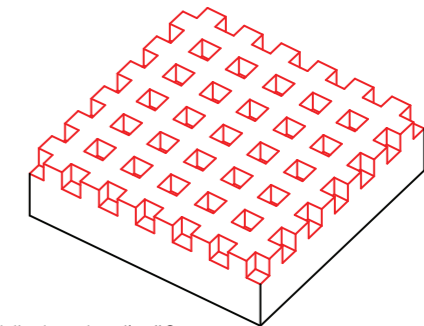


Fig.9 Mindestdetailgröße

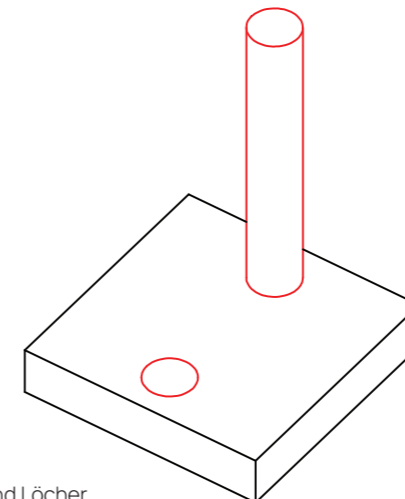


Fig.10 Stützen und Löcher

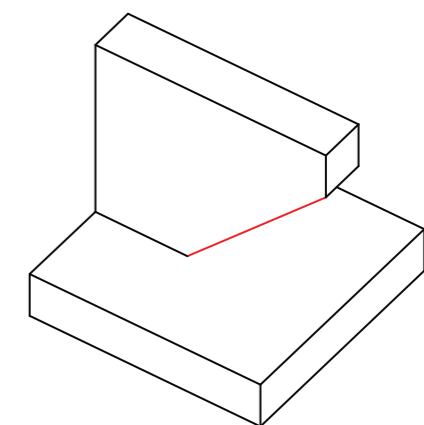


Fig.11 Überhänge

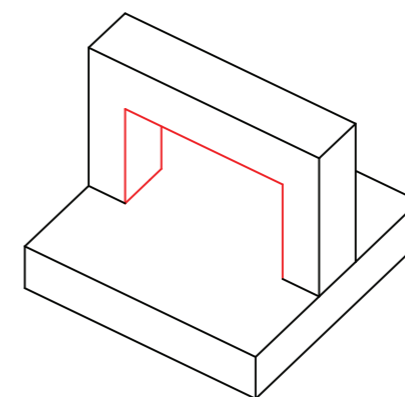


Fig.12 Brücken

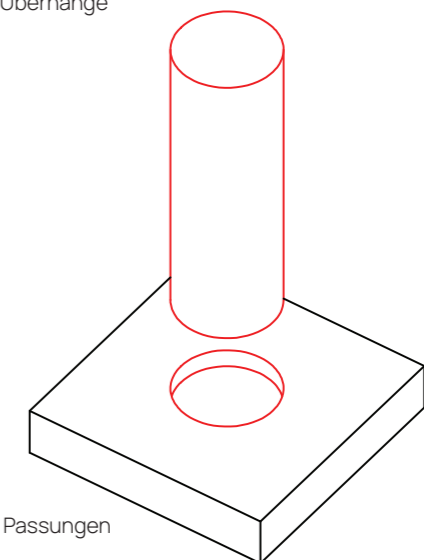


Fig.13 Passungen



# 05- Hinweise für den Modellbau

Bei der Konstruktion von 3d Druckteilen gibt es wie weiter oben beschrieben einige Regeln und Besonderheiten des Verfahrens zu beachten. Da man im Architekturmodellbau zumeist mechanisch nicht belastete Sichtteile benötigt werden, kann man den Druck häufig mit wenigen Mitteln vereinfachen und mit weniger Aufwand gute Ergebnisse erreichen.

## Hohl Drucken

Vermeehrt werden bei uns für den Umgebungsmodellbau 3d gedruckte Bestandsgebäude in Auftrag gegeben. Zumeist sind das einfache, extrudierte Grundrisse. Da zumeist einige Gebäude in der Umgebung enthalten sind, lohnt es sich diese Gebäude so zu konstruieren, dass möglichst wenig Material und Druckzeit benötigt wird. Eine gute Maßnahme ist es diese Gebäude hohl zu drucken. Dazu müssen diese mit dem Flachdach nach unten angeordnet auf dem Kopf angeordnet und ohne Boden gezeichnet werden. In Rhino3d eignet sich der Befehl „\_shell“ sehr gut dazu, den Boden von Gebäuden zu entfernen und diese mit einer einheitlichen Wandstärke zu versehen. Als Wandstärke für Dach und Wand eignet sich eine Stärke von 1,2 mm.

## Geometrien aufteilen

Komplexere Umgebungsgebäude oder Gebäudeentwürfe benötigen häufig Stützmaterial und sind schwierig als ganzes zu drucken. Häufig hilft es hier, die Gebäude in für sich gut druckbare Teile aufzuteilen und einzeln zu drucken. Nach dem Druck werden die Teile bei Bedarf nachbearbeitet und mit Klebstoff montiert. Auch aus gestalterischen Gründen ist eine Kombination von 3d gedruckten Teilen in mit anderen Materialien sehr interessant.

## Druckorientierung

Häufig reicht es zur Verbesserung der Druckergebnisse aus, Gebäude in einer anderen Orientierung als mit dem Dach nach oben zu drucken. So lassen sich häufig Überhänge oder lange zu überbrückende Bereiche vermeiden. Dabei ist jedoch 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 sowieso nachbearbeitet. Siehe hierzu auch Layerorientierung Seite 6.

## 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 abzuziehen. 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.

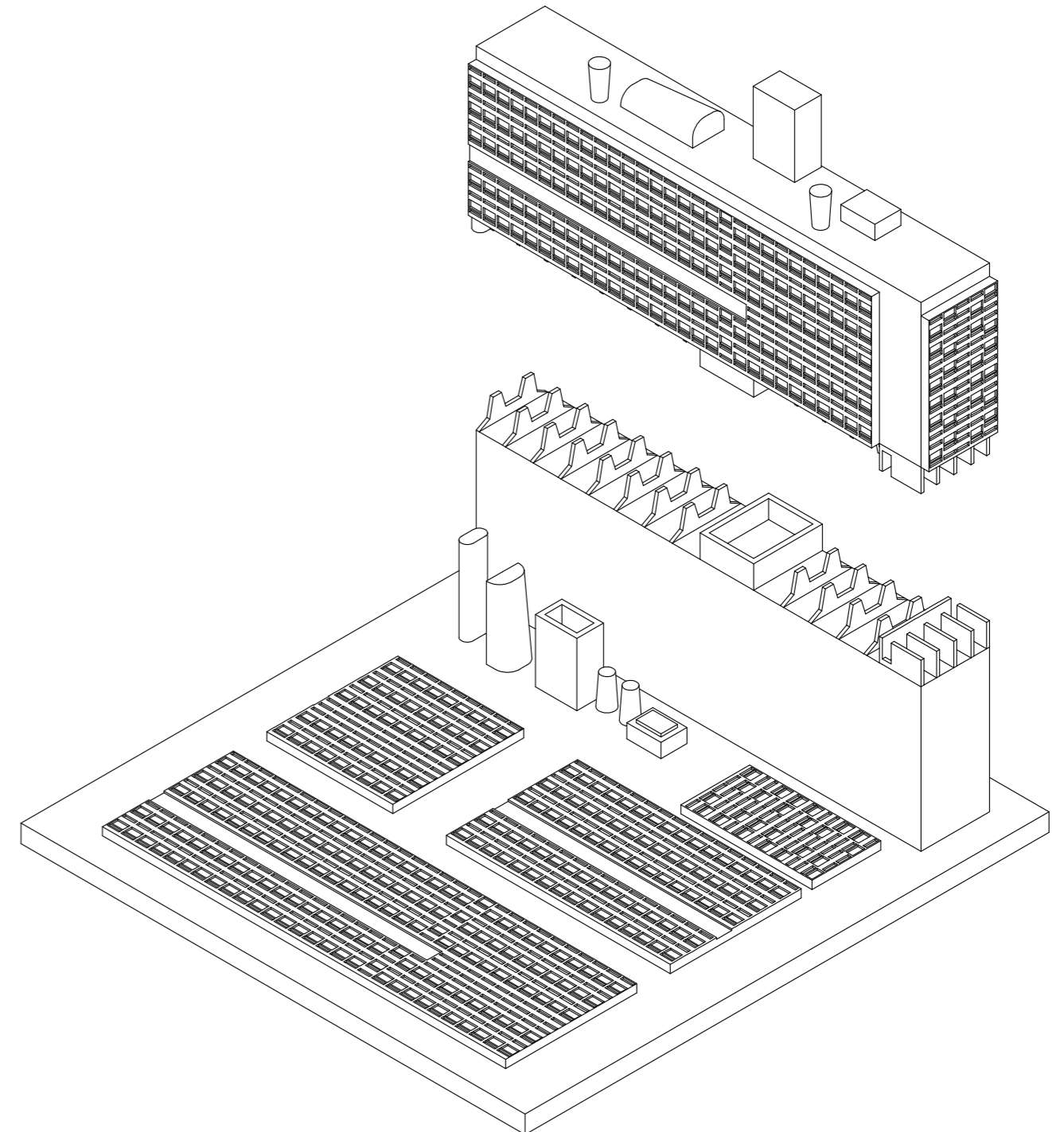


Fig.14 Modell der Unité d'habitation vor und nach der Optimierung für 3D Druck

# 06 - Dateivorbereitung

## Dateiexport

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

## Maximale Bauteilgröße

Die maximal druckbare Bauteilgröße beträgt bei unseren Prusa MK3 H210xL200xB240 mm bzw. bei den Prusa Mini Druckern H180xL170xB170 mm.

## Maßstab

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

Maßstab	1 Meter gebaut	=	Im Modell
1:1000	1 m	=	1 mm
1:500	1 m	=	2 mm
1:200	1 m	=	5 mm
1:100	1 m	=	10 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.