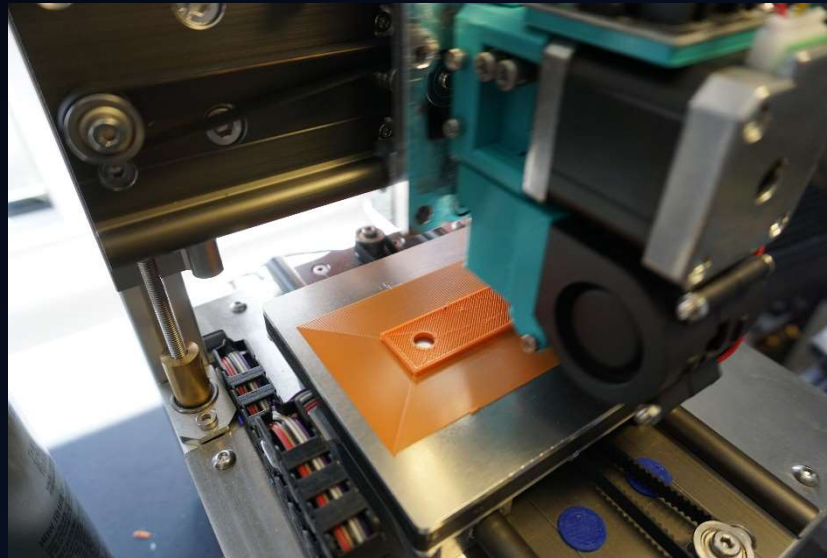


# 3D-Druck – Eine Einführung

MARTIN RICKES, DL8RI  
DARC OVF03 – DARMSTADT  
06.10.2017



# Gliederung – Was uns heute erwartet

- Was versteht man unter „3D-Drucken“
- Wie funktioniert das gängigste Verfahren (FDM/FFF)
- Was ist G-Code
- Welche Arten von Druckern gibt es
- Ablauf 1: 3D-Design
- Ablauf 2: Slicing
- Ablauf 3: Drucken
- Ablauf 4: Nacharbeit
- Die Grenzen und Vorteile von FDM
- Probleme/Fallstricke
- Kleine „Kaufberatung“

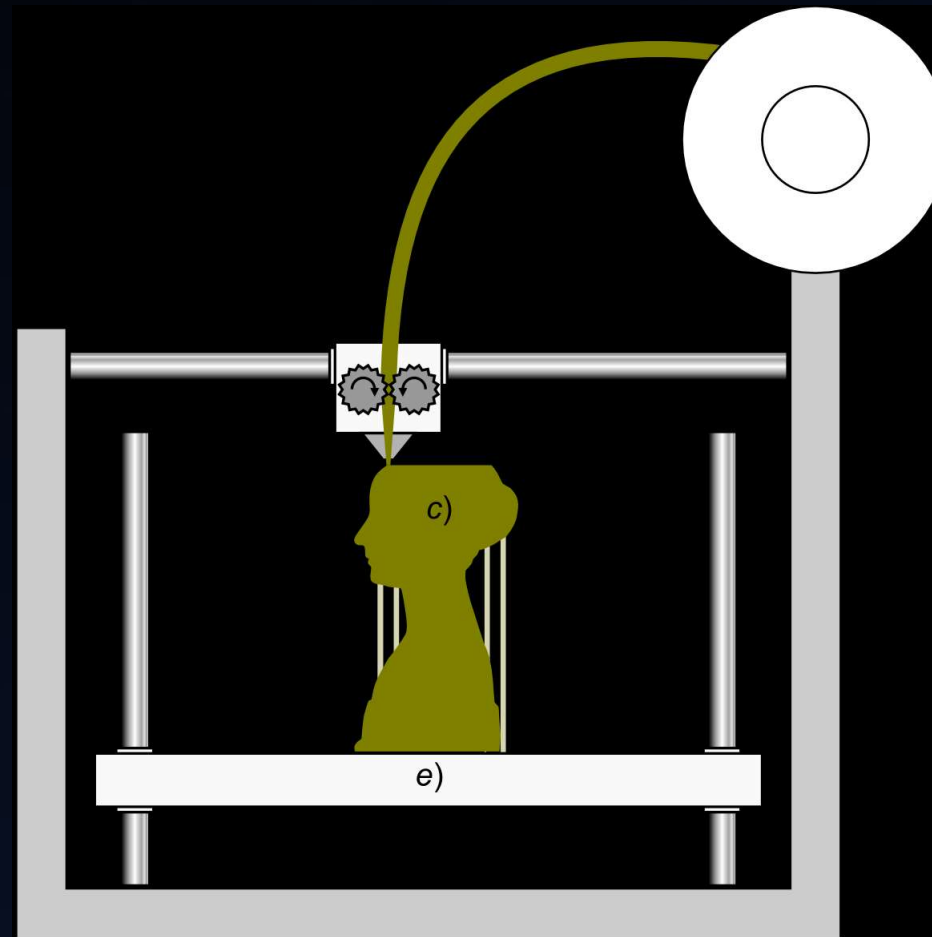
## Was versteht man unter „3D Drucken“

- 3D Druck ist ein additives Verfahren
  - Gegenteil von z.B. Zerspanung (fräsen, drehen...)
- Vorteil ggü. Zerspanung: Anforderungen an Maschine geringer
  - Daher günstiger und im „DIY“ herstellbar
- Es wird ein physischer Körper direkt aus CAD-Daten erzeugt
- Meist wird ein schichtförmiger Auftrag genutzt
- Es können beliebige innere Strukturen erstellt werden
- 3D Druck kann mit verschiedenen Materialien angewendet werden
- Materialabhängig gibt es verschiedene Verfahren: Sintern, UV-Härten, FDM/FFF

## Wie funktioniert FDM/FFF

- FDM: Fused Deposition Modelling
  - Schmelzschichtung
- FFF: Fused Filament Fabrication
  - Schmelzfilamentherstellung
- Gängigstes Verfahren bei „Hobby-Üblichen“ Druckern
- Kunststofffilament wird erhitzt und extrudiert
- Arbeitsprinzip ähnlich einer Heißklebepistole
- Druck beschränkt sich daher auf thermoplastische Kunststoffe
- Beliebt insbesondere PLA und ABS
- Reiche Auswahl an anderen Kunststoffen und Verbundstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften

# Wie funktioniert FDM/FFF



Quelle: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fused\\_deposition\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling)

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

06.10.2017 DL8P

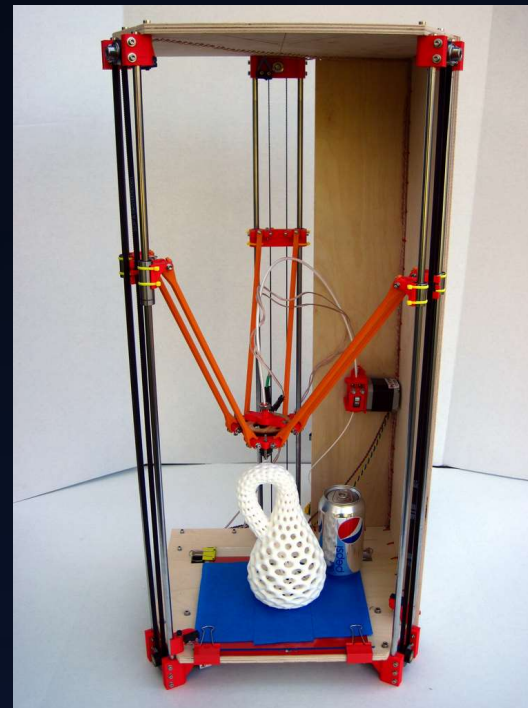
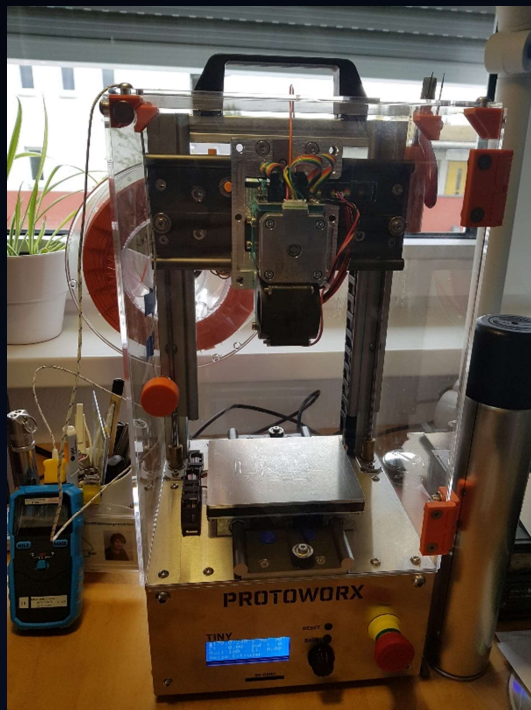
# Was ist G-Code

- Protokoll zur Steuerung von Maschinen
- Erste Einführung 1950 am MIT
- Sehr grundlegende NC-Steuerung, textbasierte Kommandos
- Standard in der Ansteuerung von 3D-Druckern
- Ergebnis des slicing-Prozesses

```
1;Generated with Cura_SteamEngine 15.01
2; Default start code
3G28 ; Home extruder
4M190 S90
5G1 Z15 F100
6M107 ; Turn off fan
7G90 ; Absolute positioning
8M82 ; Extruder in absolute mode
9; Activate all used extruder
10M104 T0 S240
11G92 E0 ; Reset extruder position
12; Wait for all used extruders to reach temperature
13M109 T0 S240
14;Layer count: 100
15;LAYER:0
16M107
17G0 F9000 X44.447 Y40.713 Z0.200
```

# Welche Arten von Druckern gibt es

- Für FFF sind zwei Grundbauformen üblich
  - Kartesisch: Klassisches Prinzip
  - Delta: Vorteilhaft bei hohen Drucken, schwieriger im Aufbau



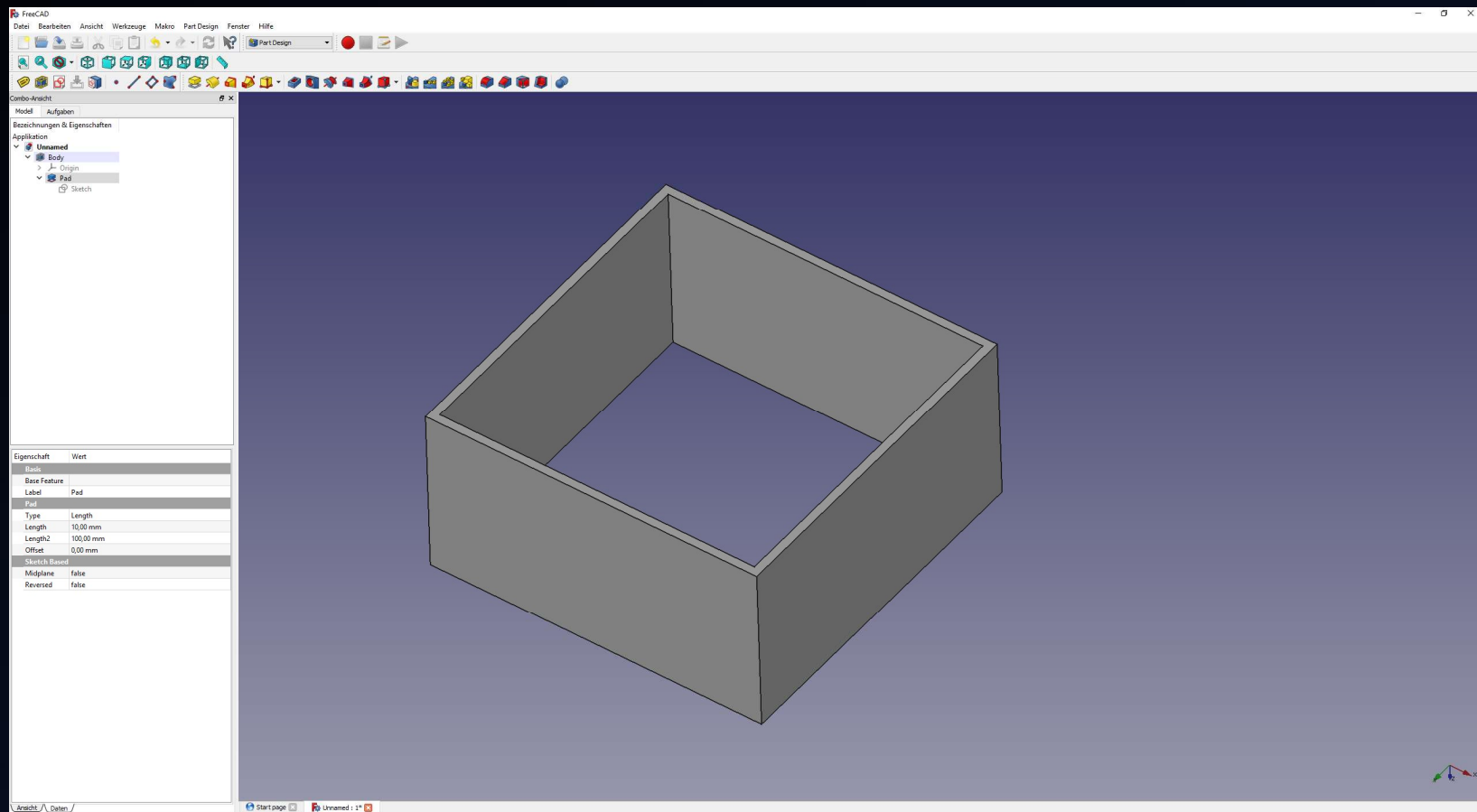
Quelle: <http://reprap.org/wiki/Rostock>

## Ablauf 1: 3D Design

- Prinzipbedingt gibt es einige Formen, die mit 3D Druckverfahren schwieriger herzustellen sind.
  - Lange, dünne Teile (warping!)
  - Teile mit geringen Kontakt zur Plattform (z.B. Kugeln)
  - Teile mit großem Überhang
- Oftmals kann durch geschicktes Design oder
- Nutzen von Support-Strukturen ein befriedigendes Ergebnis erzielt werden
- Für den Heimbereich gibt es mehrere Lösungen, z.B.
  - FreeCAD (Open Source) – Mein Tipp!
  - OpenSCAD (Open Source) – CAD-Modelle werden „programmiert“
  - Autodesk Fusion (Für Hobby kostenlos) – Registrierung bei Autodesk notwendig



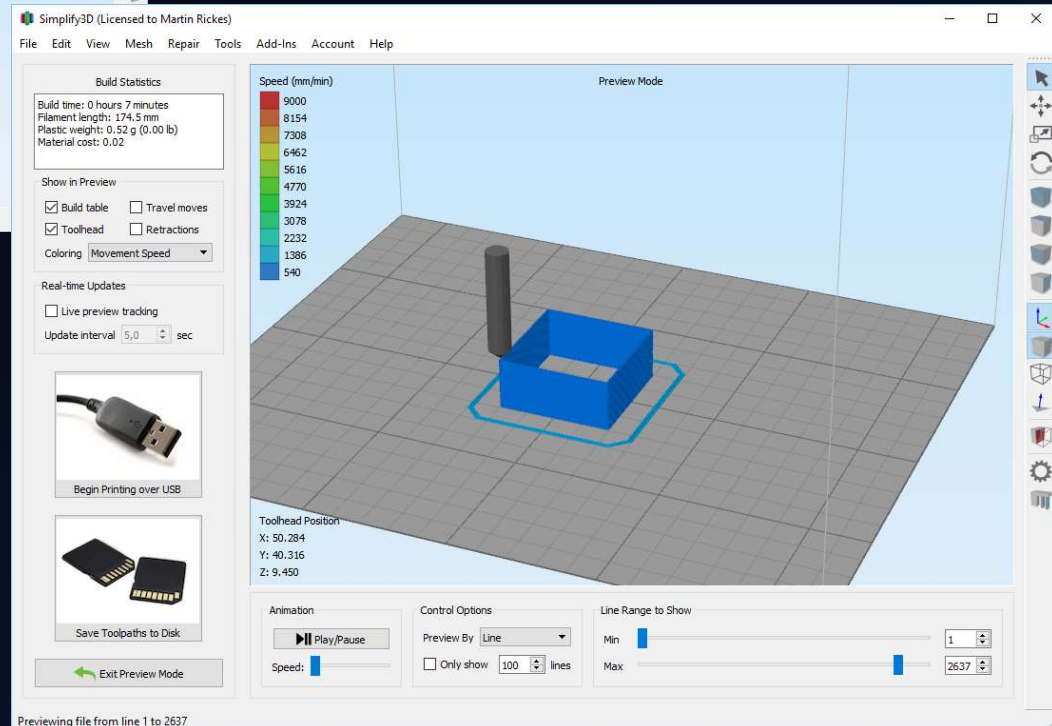
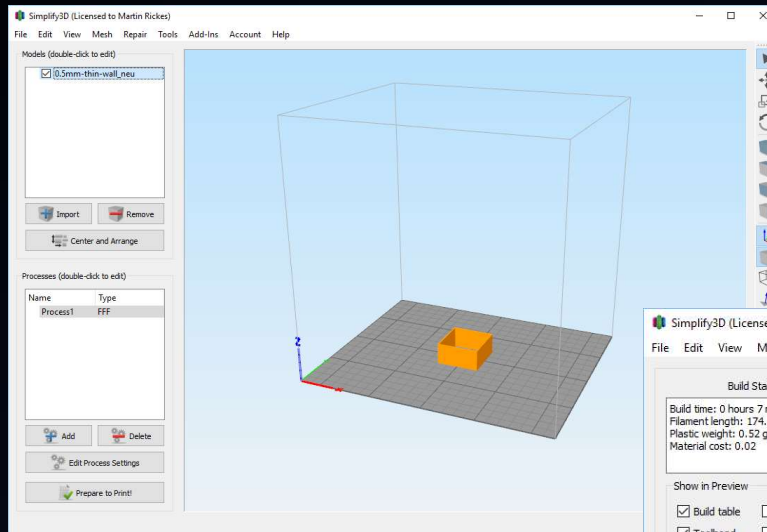
# Ablauf 1: 3D Design (2)



## Ablauf 2: Slicing

- Slicer setzt CAD-Daten in Maschinensprache um (vergl. CAD-CAM)
- „Zerschneiden“ – slicen des Modells in die Druckebenen
- Berechnen der Maschinenpfade ( -> G-Code)
- Zusätzliche Funktionen:
  - Support
  - Haftungsverbesserungen
  - Infill
- Slicer-Parameter müssen auf die Maschine Optimiert werden
- Andernfalls: Kein gutes Ergebnis
- Maschineneigenschaften müssen eingegeben werden
- Slicer sind entscheidend für die Druckqualität
  - Wechsel zwischen Slicern kann Druckergebnis verändern

# Ablauf 2: Slicing (2)



Previewing file from line 1 to 2637

06.10.2017 DL&RI

## Ablauf 2: Slicing (3)

- Bekannte Slicer (es gibt viele...):
  - Slic3r – Open Source, nicht intuitiv in der Bedienung
  - Cura – Kostenlos (Ultimaker), sehr leichter Einstieg, gutes Ergebnis, viele mögliche Einstellungen aber Lücken
  - Simplify 3D – Kommerzielle Software (aktuell: \$150): Meiner Erfahrung nach bestes Ergebnis, erhebliche Möglichkeiten Einstellungen zu verändern
- Mein Tipp:
  - Mit Cura starten und
  - Bei Bedarf auf Simplify 3D wechseln

## Ablauf 3: Drucken

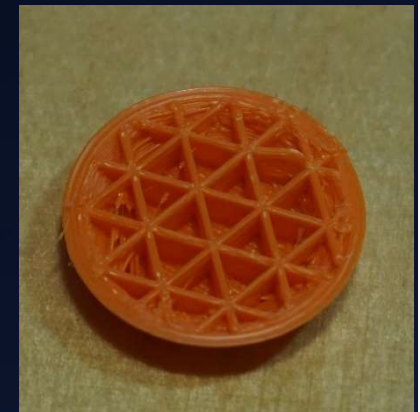
- Drucker muss eingestellt sein:
  - Bettfehler
  - Z0
  - Filamentvorschub
- Parameter müssen zum Material und Filament passen
  - Jeder Hersteller macht es etwas anders, PLA ist nicht immer gleich PLA
  - Hersteller geben oft Tips zur Orientierung
  - Bei ABS: Umbauter Druckraum nötig?
- Zusätzlicher Kleber am Bett?
  - Erhöhte Haftung, geringeres warping
  - Viele Möglichkeiten: Klebeband, Klebestift, Haarspray (z.B. 3DLAC)

## Ablauf 4: Nachbearbeitung

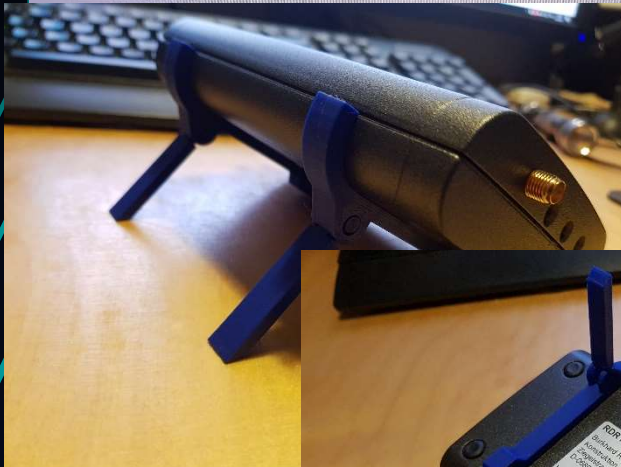
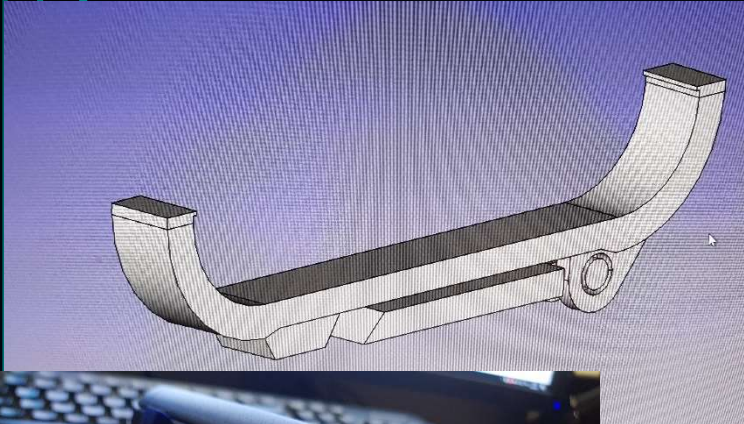
- Lösen vom Bett
- Entfernen von Krümeln, Fäden (z.B. erhitzen)
- Bei manchen Werkstoffen kann Oberfläche geglättet werden
  - Acetondampf bei ABS
- Im Allgemeinen muss ein gutes Druckteil quasi nicht nachbearbeitet werden!
- Ausnahme: Spezialwerkstoffe (z.B. tempering für mech. Stabilität)

## Die Grenzen und Vorteile von FDM/FFF

- Prinzipbedingt können nur thermoplastische Werkstoffe verarbeitet werden.
  - Für hohe Temperaturen  $>100^{\circ}\text{C}$  gibt es z.B. GreenTec , PEEK z.B.
- Gewisse Formen problematisch
- Mehrfarbige Drucke (Materialmixe) sehr problematisch
- Mechanischer Stress je nach Druckqualität ein Problem
  
- Interne (komplexe) Stützstrukturen – Leichtbau
- Bewegliche mechanische Komponenten direkt fertigen
- Innere, „verborgene“ Elemente direkt fertigen
- Im Heimbereich Kleinserienfertigung möglich



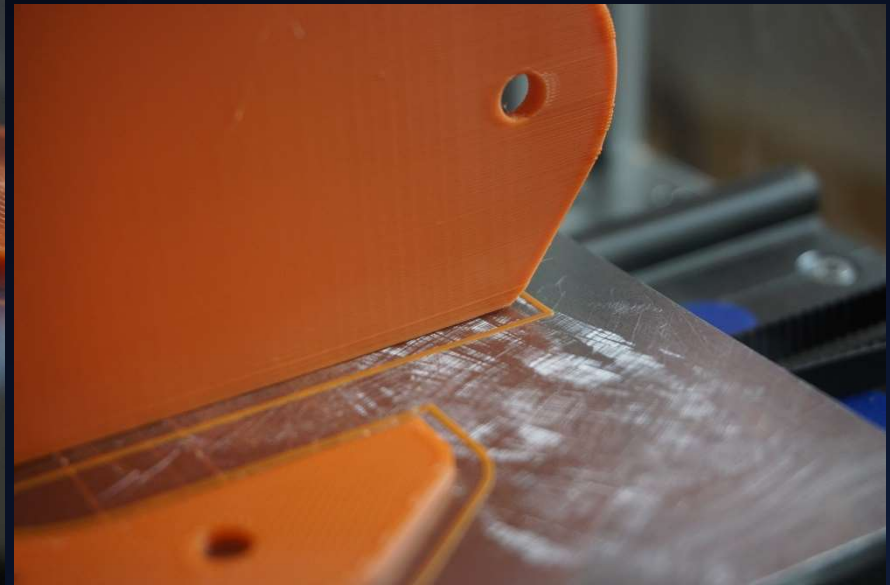
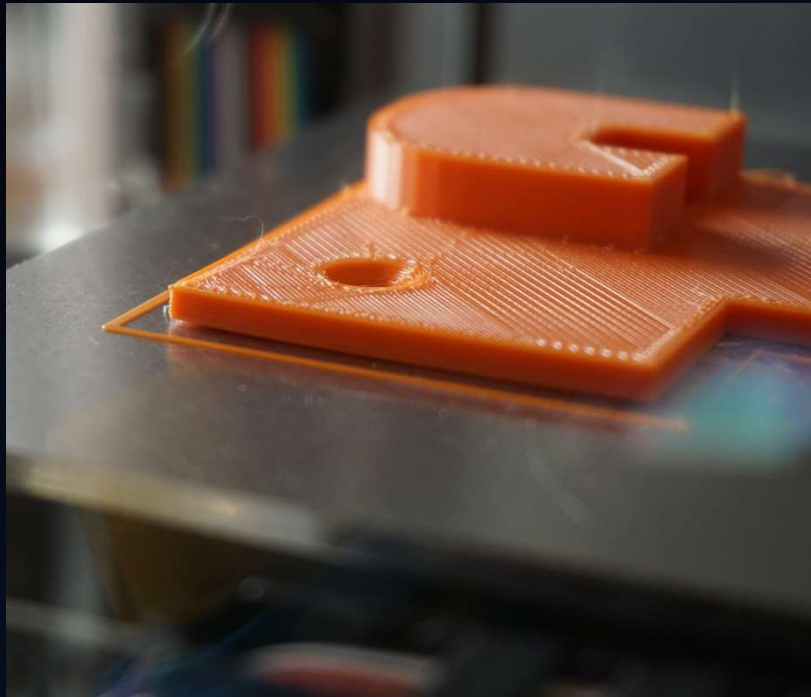
## Die Grenzen und Vorteile von FDM/FFF (2)





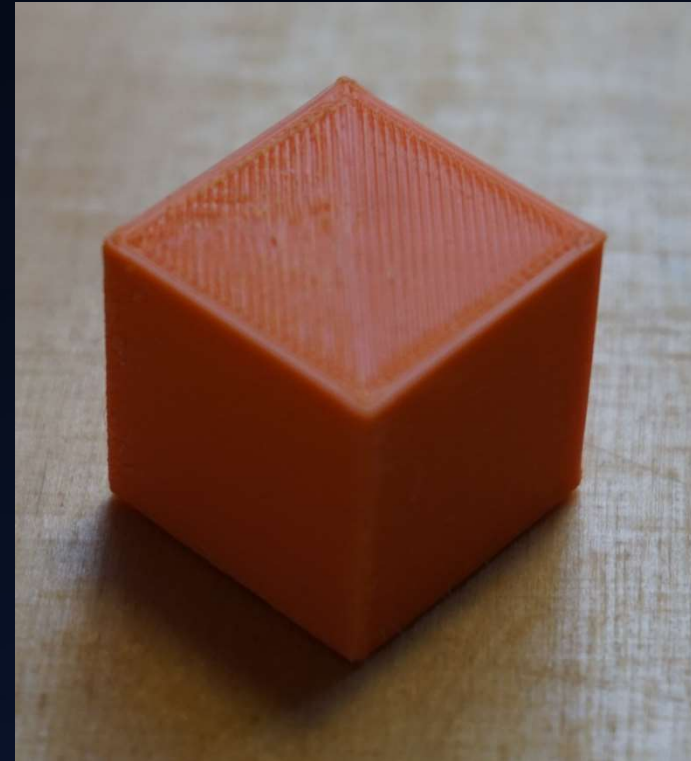
## Probleme und Fallstricke

- Der Klassiker: Warping
- Speziell bei ABS ein Problem
- Weniger Infill, beheiztes Bett, Klebstoff



## Probleme und Fallstricke

- Rauhe Oberfläche oder Lücken
- Extruder-Feedrate falsch
- Düsendurchmesser falsch



## Probleme und Fallstricke

- Risse
- Bauteilkühlung aktiv (bei ABS)
- Kein geschlossener Bauraum



## Probleme und Fallstricke

- Unsaubere Layer bei PLA: Bautilkühlung unzureichend
- Ablösen vom Bett: Verunreinigt, kein Kleber, nicht beheizt
- Unregelmäßige Schichtdicke: Spannung für Extruderzuführung falsch
- Z ist kalibriert, aber stimmt beim drucken nicht: Kalibrierung im beheizten Zustand wiederholen (Wärmeausdehnung!)
- Extruder/Hotend nie unnötig lange „im Standby“ auf Temperatur lassen – Kann zu verstopften Düsen führen
- Zusammengefasst: Viel, viel Experimentieren ist notwendig 😊

# Eine kleine Kaufberatung

- Wie groß soll der Drucker sein?
  - Der hier vorgeführte hat einen Bauraum von 10x12x12 cm und reicht für sehr vieles damit aus
- Wie viel nutze ich den Drucker – und damit der Preis
  - Billigste Drucker fangen bei ~130€ an – das sind aber wirklich billigste
  - Nach oben hin keine Grenze
  - 500-1000€ sollten investiert werden
- Wichtig an einem Drucker ist:
  - Mechanische Stabilität – Diese definiert die maximale Druckgeschwindigkeit
  - Beheiztes Bett
  - Die Möglichkeit ein Gehäuse drumherum bauen zu *können*