

3D-Druck

J. Enko A. Polishchuk M. Strohmeier

Fachbereich Computerwissenschaften
Universität Salzburg

WAP, WS 2016/17

1 Einleitung

- Was ist ein 3D-Drucker?
- Aufbau eines 3D-Druckers

2 Druckverfahren

- Fused-Filament-Fabrication PLA, ABS
- Stereolithografie, Lasersintern

1 Einleitung

- Was ist ein 3D-Drucker?
- Aufbau eines 3D-Druckers

2 Druckverfahren

- Fused-Filament-Fabrication PLA, ABS
- Stereolithografie, Lasersintern

- Mit einem 3D-Drucker werden dreidimensionale Werkstücke schichtweise aufgebaut. Der 3D-Druck wurde 1983 von Chuck Hull (Charles W. Hull *12.Mai 1939) erfunden. Er baute den ersten 3D-Drucker und entwickelte die STL-Schnittstelle (STereoLithography, Standard Tessellation Language) für Stereolithographie.

- Mit einem 3D-Drucker werden dreidimensionale Werkstücke schichtweise aufgebaut. Der 3D-Druck wurde 1983 von Chuck Hull (Charles W. Hull *12.Mai 1939) erfunden. Er baute den ersten 3D-Drucker und entwickelte die STL-Schnittstelle (STereoLithography, Standard Tessellation Language) für Stereolithographie.
- STL beinhaltet die Beschreibung der Oberfläche von 3D-Körpern mit Hilfe von Dreiecksfacetten (englisch tessellation = Packettierung). Jede Dreiecksfacette wird durch die drei Eckpunkte und die zugehörige Flächennormale des Dreieckes charakterisiert. Diese gesamten geometrischen Werte werden in definierter Form für die weitere Datenaufbereitung (z. B. Positionieren, Slicen) und für den Bauprozess benötigt.

```
//Codesnippet im ASCII-Format fuer STL
solid name
    facet normal n1 n2 n3
        outer loop
            vertex p1x p1y p1z
            vertex p2x p2y p2z
            vertex p3x p3y p3z
        endloop
    endfacet
endsolid name
```

- Der 3D-Drucker wurde zu Anfang für Prototyping und Modellerstellung verwendet. Weiters sind die Drucker nicht an die herkömmlichen Beschränkungen von spanabhebenden Bearbeitungen wie Bohren und Fräsen gebunden. Sie bieten nahezu den selben Vorteil wie Spritzgussverfahren ohne den enormen Zeit- und Kostenaufwand.

- Der 3D-Drucker wurde zu Anfang für Prototyping und Modellerstellung verwendet. Weiters sind die Drucker nicht an die herkömmlichen Beschränkungen von spanabhebenden Bearbeitungen wie Bohren und Fräsen gebunden. Sie bieten nahezu den selben Vorteil wie Spritzgussverfahren ohne den enormen Zeit- und Kostenaufwand.
- Später wurden auch Werkstücke mittels 3D-Druckverfahren hergestellt
 - SpaceX fertigte Raketentriebwerke welche in dem Schiff Dragon-V2 verbaut wurden mittels eines 3D-Druckers.
 - Bei der F18-Hornet von Boing wurden lasergesinterte Bauteile aus einem 3D-Drucker eingesetzt.

- 3D-Modelle werden durch physikalische und chemische Härtungs- und Schmelzprozesse erzeugt. Häufig verwendete Werkstoffe dafür sind: Kunststoffe, Kunstharze, Keramiken und Metalle. Im Folgenden werden wir auf diese Verfahren eingehen:
 - FFF (Fused-Filament-Fabrication) mit PLA- und ABS-Kunststoff
 - Stereolithografie
 - Lasersintern

- 3D-Modelle werden durch physikalische und chemische Härtungs- und Schmelzprozesse erzeugt. Häufig verwendete Werkstoffe dafür sind: Kunststoffe, Kunstharze, Keramiken und Metalle. Im Folgenden werden wir auf diese Verfahren eingehen:
 - FFF (Fused-Filament-Fabrication) mit PLA- und ABS-Kunststoff
 - Stereolithografie
 - Lasersintern
- Der 3D-Drucker ist überall dort einsetzbar, wo es von Vorteil ist, wenn man ein Bauteil oder eine Konstruktion möglichst kostengünstig in die reale Welt übertragen und testen möchte (Industrie, Medizin, Kunst, Architektur, . . .)

1 Einleitung

- Was ist ein 3D-Drucker?
- Aufbau eines 3D-Druckers

2 Druckverfahren

- Fused-Filament-Fabrication PLA, ABS
- Stereolithografie, Lasersintern

3D-Drucker Einleitung

Aufbau eines 3D-Druckers

- Wie ein 3D-Drucker im Allgemeinen aufgebaut ist. Erklären wir anhand eines **RepRap Prusa-Mendel** und **RepRap Prusa-i3**

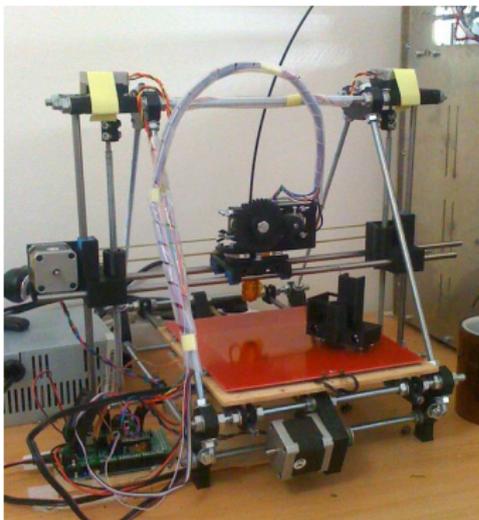


Figure: RepRap Prusa-Mendel

- Beim Prusa-i3 wird der sogenannte Extruder (schmilzt das Filament und gibt das flüssige Plastik unten aus) über die Z-Achse (Höhe) und X-Achse (Breite) bewegt. Die Y-Achse (Tiefe) übernimmt das Pad (Drucktisch). Im Grunde geht es darum, durch das Bewegen eines Extruders oder Lasers ein dreidimensionales Schichtmodell zu erzeugen. Dieses Prinzip ist bei allen Druckern gleich.

- Beim Prusa-i3 wird der sogenannte Extruder (schmilzt das Filament und gibt das flüssige Plastik unten aus) über die Z-Achse (Höhe) und X-Achse (Breite) bewegt. Die Y-Achse (Tiefe) übernimmt das Pad (Drucktisch). Im Grunde geht es darum, durch das Bewegen eines Extruders oder Lasers ein dreidimensionales Schichtmodell zu erzeugen. Dieses Prinzip ist bei allen Druckern gleich.
- Angetrieben wird der Drucker von Schrittmotoren, welche die Bauteile in Bewegung setzen. Die Drehbewegung wird dabei entweder von einem Riementrieb oder einer Spindel in eine Linearbewegung umgewandelt. Die Schrittmotoren werden von einem Computer gesteuert. Im Falle des Prusa-i3 übernimmt dies meist ein Arduino.

Einleitung

Aufbau eines 3D-Druckers



Figure: RepRap Prusa-i3

1 Einleitung

- Was ist ein 3D-Drucker?
- Aufbau eines 3D-Druckers

2 Druckverfahren

- Fused-Filament-Fabrication PLA, ABS
- Stereolithografie, Lasersintern

Druckverfahren

Fused-Filament-Fabrication

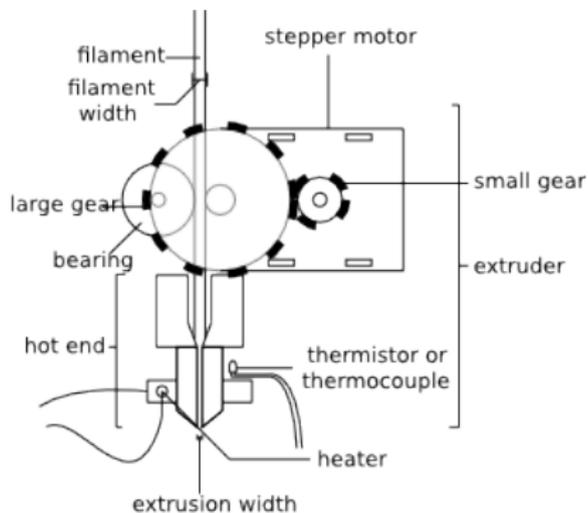


Figure: Extruder RepRap-Style

- Das Verfahren wurde durch S. Scott Crump in den späten 80ern entwickelt. Da aber der ursprüngliche Name FDM (Fused Deposition Modeling) eine geschützte Marke der Firma Stratasys ist, wurde durch die RepRap Community der Ausdruck FFF (Fused Filament Fabrication) geprägt.

- Das Verfahren wurde durch S. Scott Crump in den späten 80ern entwickelt. Da aber der ursprüngliche Name FDM (Fused Deposition Modeling) eine geschützte Marke der Firma Stratasys ist, wurde durch die RepRap Community der Ausdruck FFF (Fused Filament Fabrication) geprägt.
- Die minimale Schichtdicke liegt bei 0,025mm. Maximal üblich sind 1,25mm. Es können Voll- sowie auch Hohlkörper gefertigt werden. Bei Hohlkörpern ist die minimale Wandstärke verfahrensbedingt auf 0,2mm beschränkt.

- Das Verfahren wurde durch S. Scott Crump in den späten 80ern entwickelt. Da aber der ursprüngliche Name FDM (Fused Deposition Modeling) eine geschützte Marke der Firma Stratasys ist, wurde durch die RepRap Community der Ausdruck FFF (Fused Filament Fabrication) geprägt.
- Die minimale Schichtdicke liegt bei 0,025mm. Maximal üblich sind 1,25mm. Es können Voll- sowie auch Hohlkörper gefertigt werden. Bei Hohlkörpern ist die minimale Wandstärke verfahrensbedingt auf 0,2mm beschränkt.
- Für ausragende Teile (Überstände) können Stützstrukturen erforderlich sein. Entweder man legt etwas unter oder fügt sie gleich bei der Konstruktion am PC hinzu, sodass sie gleich mitgedruckt werden.

- PLA ist ein Kunststoff aus der Familie der Polyactide (ugs. Polymilchsäuren)
PLA eignet sich aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften besonders gut für den 3D-Druck im Heimgebrauch.
 - geringe Entflammbarkeit
 - hohe UV-Beständigkeit
 - geringe Dichte, dadurch gut für Leichtbauanwendungen geeignet
 - niedriger Preis.

- PLA ist ein Kunststoff aus der Familie der Polyactide (ugs. Polymilchsäuren)
PLA eignet sich aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften besonders gut für den 3D-Druck im Heimgebrauch.
 - geringe Entflammbarkeit
 - hohe UV-Beständigkeit
 - geringe Dichte, dadurch gut für Leichtbauanwendungen geeignet
 - niedriger Preis.
- Die Schmelztemperatur bei PLA liegt in etwa bei 160 bis 190°C.
Eine beheizbare Druckfläche ist für PLA nicht zwingend erforderlich.

- PLA ist ein Kunststoff aus der Familie der Polyactide (ugs. Polymilchsäuren)
PLA eignet sich aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften besonders gut für den 3D-Druck im Heimgebrauch.
 - geringe Entflammbarkeit
 - hohe UV-Beständigkeit
 - geringe Dichte, dadurch gut für Leichtbauanwendungen geeignet
 - niedriger Preis.
- Die Schmelztemperatur bei PLA liegt in etwa bei 160 bis 190°C. Eine beheizbare Druckfläche ist für PLA nicht zwingend erforderlich.
- **PLA ist nicht witterungsbeständig, härter und spröder als ABS (Nachbearbeitung).**

- ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer) sind thermoplastische Terpolymere. ABS kann geklebt werden und hat eine hohe Schlagzähigkeit. Es wird allem voran in der Automobil- und Elektroindustrie sowie auch bei Spielzeug (Lego) eingesetzt.

- ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer) sind thermoplastische Terpolymere. ABS kann geklebt werden und hat eine hohe Schlagzähigkeit. Es wird allem voran in der Automobil- und Elektroindustrie sowie auch bei Spielzeug (Lego) eingesetzt.
- ABS ist recyclebar und wird in einem 3D-Drucker bei ca. 215 bis 250°C verarbeitet. Bei ABS ist eine beheizbare Druckfläche ein muss, da es sonst zum sogenannten "Warp-Effekt" kommt (Außenkanten ziehen sich hoch)

- ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer) sind thermoplastische Terpolymere. ABS kann geklebt werden und hat eine hohe Schlagzähigkeit. Es wird allem voran in der Automobil- und Elektroindustrie sowie auch bei Spielzeug (Lego) eingesetzt.
- ABS ist recyclebar und wird in einem 3D-Drucker bei ca. 215 bis 250°C verarbeitet. Bei ABS ist eine beheizbare Druckfläche ein muss, da es sonst zum sogenannten "Warp-Effekt" kommt (Außenkanten ziehen sich hoch)
- ABS lässt sich besser nachbearbeiten als PLA, weil es zäher ist. Jedoch ist es entflammbar und die Verarbeitung aufwendiger.

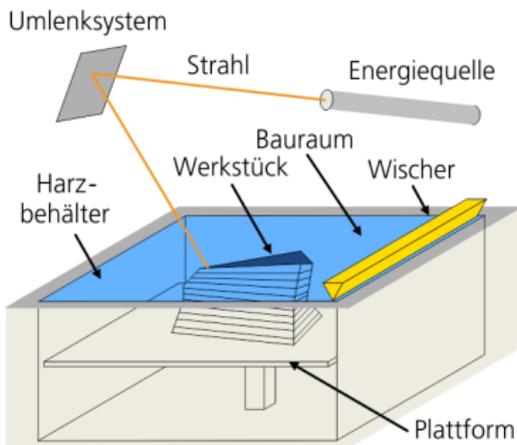
1 Einleitung

- Was ist ein 3D-Drucker?
- Aufbau eines 3D-Druckers

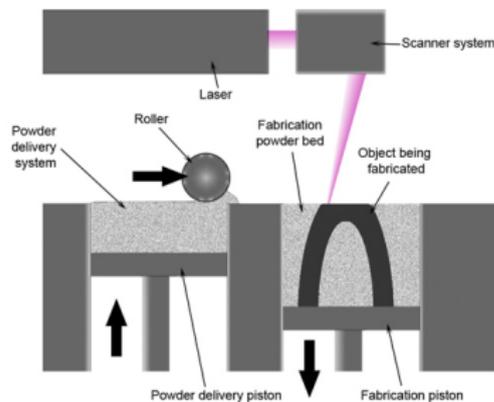
2 Druckverfahren

- Fused-Filament-Fabrication PLA, ABS
- Stereolithografie, Lasersintern

- Zwei andere Verfahren für additive Fertigung im Bereich des 3D-Druckes sind die Stereolithografie und das Lasersintern



(a) Stereolithografie



(b) Lasersintern

- Obwohl der Geräteaufbau und das Funktionsprinzip sehr ähnlich ist, unterscheiden sie sich sehr voneinander. Bei der Stereolithografie wird ein Kunststoffharz mittels Laser verfestigt und so ein Schichtmodell erzeugt. Beim Lasersintern wird ein Pulvergemisch mittels Laserstrahl geschmolzen und so ein Schichtmodell erzeugt.

- Obwohl der Geräteaufbau und das Funktionsprinzip sehr ähnlich ist, unterscheiden sie sich sehr voneinander. Bei der Stereolithografie wird ein Kunststoffharz mittels Laser verfestigt und so ein Schichtmodell erzeugt. Beim Lasersintern wird ein Pulvergemisch mittels Laserstrahl geschmolzen und so ein Schichtmodell erzeugt.
- Diese Fertigungstechniken werden größtenteils noch in der Forschung und Industrie eingesetzt, da sie sehr zeitaufwendig und teuer sind (Geräte und Materialien).

- Stereolithografie Vorteile:
 - Standardschichtstärken im Bereich 0,05 - 0,25mm. Bei Mikrosteriolithografie auch bis zu 1-Mikrometerschichten
 - Bei kleineren Objekten sind keine Stützstrukturen mehr notwendig.
 - Multi Jet Modeling bietet neue Möglichkeiten im Bereich Stereolithografie

- Stereolithografie Vorteile:
 - Standardschichtstärken im Bereich 0,05 - 0,25mm. Bei Mikrosteriolithografie auch bis zu 1-Mikrometerschichten
 - Bei kleineren Objekten sind keine Stützstrukturen mehr notwendig.
 - Multi Jet Modeling bietet neue Möglichkeiten im Bereich Stereolithografie
- Stereolithografie Nachteile:
 - Bei großen Modellen Stützstrukturen erforderlich.
 - Aushärten, nach dem Druck, in einem UV-Licht-Schrank erforderlich

- Lasersintern Vorteile:
 - Auch Verschmelzung von Metallpulver möglich
 - Da das Modell permanent von Pulver umgeben ist, sind keine Stützstrukturen notwendig
 - Unter Vakuum-Verarbeitung von Nanopulver sind Schichtstärken im μm -Bereich möglich.
 - Im Labor Ablenkgeschwindigkeiten von 150m/s nachgewiesen.
 - Mittels Elektronenstrahlsintern werden bis zu 10KW Leistung erzeugt und somit die Verarbeitung von hochfesten Stählen möglich.

- Lasersintern Vorteile:
 - Auch Verschmelzung von Metallpulver möglich
 - Da das Modell permanent von Pulver umgeben ist, sind keine Stützstrukturen notwendig
 - Unter Vakuum-Verarbeitung von Nanopulver sind Schichtstärken im μm -Bereich möglich.
 - Im Labor Ablenkgeschwindigkeiten von 150m/s nachgewiesen.
 - Mittels Elektronenstrahlsintern werden bis zu 10KW Leistung erzeugt und somit die Verarbeitung von hochfesten Stählen möglich.
- Lasersintern Nachteile:
 - Nur ca. 50% des aufgewendeten Pulvers sind wiederverwendbar.
 - Hoher Energieeinsatz
 - Nur geringe Schichtstärken daher sehr lange Fertigungszeit.



Figure: Dinosaurier mit FFF (FDM)-Verfahren



Figure: Getriebe mit Stereolithografie-Verfahren

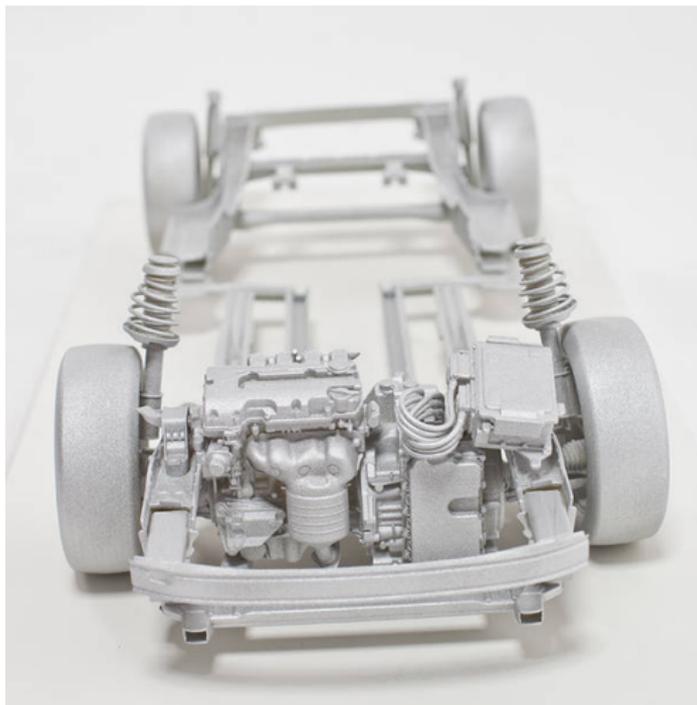


Figure: Fahrgestell mit Lasersinter-Verfahren

-  Heiner Stiller (ISBN 978-3-645-60301-0)
3D Druck für Einsteiger.
2014 Frazis Verlag GmbH
-  <https://wikipedia.org>
<https://de.wikipedia.org/wiki/3D-Druck>
-  <http://reprap.org/>
http://reprap.org/wiki/Prusa_i3
http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel/de
-  <https://enargus.fit.fraunhofer.de/>