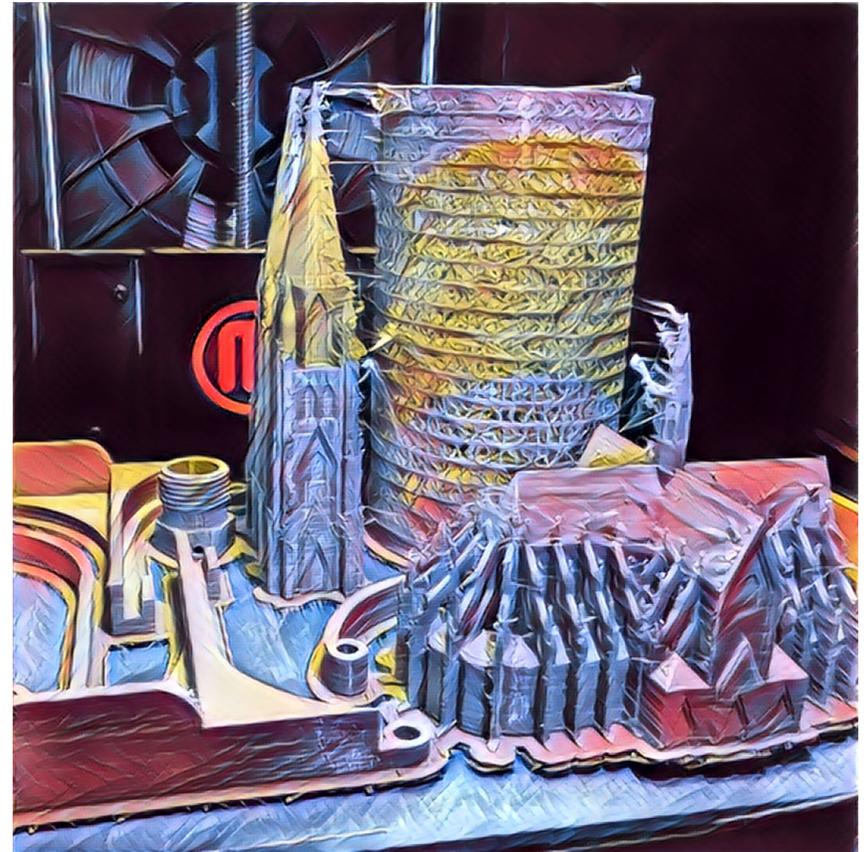


Werde zum Design Experten

Tipps und Tricks zum Einstieg in den 3D-Druck



Volker Wirtz

RepRap	Ein Opensource Projekt zur Herstellung eines 3D-Druckers mit Hilfe eines 3D-Druckers. RepRap ist die Kurzform von <i>replicating rapid prototyper</i> . <i>s. Prusa</i>
Schichthöhe	Die Schichthöhe gibt die Auflösung in der Z-Achse an. Meist wird die Schichthöhe in mm angegeben. Die Höhe der Schichten beeinflusst die Druckzeit, aber natürlich die Auflösung in Z-Achse immens. Die Druckzeit steigt in etwa exponentiell zur Anzahl der zu druckenden Schichten.
Shell	<i>s. Hüllen</i>
Stützen	Bei einem schichtweisen Druckverfahren muss in der Regel eine neue Schicht auf eine bestehende Schicht aufgetragen werden. Ist dies nicht möglich, kann sich durch Stützen beholfen werden, die nach dem Druck von Hand entfernt werden müssen. Alternativ lassen sich häufig auch Überhänge einsetzen, die Material, Druckzeit und Nachbearbeitungszeit einsparen. <i>s. Überhang</i>
Support	<i>s. Stützen</i>
Überhang	Wenn sich eine Schicht nach außen - möglicherweise nicht gestützt - über die vorherige Schicht hinaus erstreckt.
Ultimaker	3D-Drucker Hersteller aus den Niederlanden. ultimaker.com
Verzug <i>Thermischer Verzug</i>	Eine der häufigsten Ärgernisse beim 3D-Drucken ist der thermische Verzug, in der Fachsprache auch Warp-Effekt genannt. Dieser tritt durch die Temperaturunterschiede während des Drucks im Material auf. Das Material löst sich bei diesem Effekt von der Druckplatte ab. <i>s. Problemlösung (S. 9)</i>
Warping	<i>s. Verzug</i>

Constructive Solid Geometry	„Constructive Solid Geometry (CSG) oder Konstruktive Festkörpergeometrie ist eine Technik zum Modellieren von Körpern, die u. a. in der 3D-Computergrafik und bei CAD-Programmen genutzt wird. Constructive Solid Geometry ermöglicht einem Designer komplexe Oberflächen und Körper zu erzeugen, indem er boolesche Operatoren benutzt, um Objekte zu kombinieren. Aus der CSG hervorgegangene Körper wirken oft sehr komplex, sind aber in Wirklichkeit nichts anderes als geschickt verknüpfte Objekte.“ (Wikipedia) s. Kapitel 6
CSG	s. Constructive Solid Geometry
Extruder	Den „Druckkopf“ eines 3D-Druckers nennt man Extruder. In ihm befindet sich die Heizeinheit und bei den meisten Druckern auch die Filamenttransporteinheit. Einige weniger Drucker haben aus Gewichtsgründen (Trägemasse) den Filamenttransport außerhalb des Extruders angeordnet. Die neueren MakerBot Modelle besitzen einen Smartextruder. Dieser hat neben den Wärmesensoren noch weitere Sensoren verbaut und kann z.B. feststellen ob der Filamentfluss zuverlässig läuft und ob der Abstand zur Druckplatte stimmt.
FDM 3D-Druck	Fused Deposition Modeling (FDM; deutsch: Schmelzschichtung) ist ein Fertigungsverfahren, bei dem schmelzfähiger Kunststoff schichtweise aufgetragen wird.
Filament	Filament nennt man das Druckmaterial beim 3D-Druck.
Füllung	Struktur, die im Inneren des Modells aufgebaut wird. Die Form und der prozentuale Füllungsgrad kann in der Drucksoftware ausgewählt werden. Die Füllung beeinflusst Stabilität, Druckzeit und Materialverbrauch immens.
Hülle(n)	Die Außenwände, die die Umriss des Objekts bilden. Die Anzahl der Schichten beeinflusst Stabilität, Druckzeit und Materialverbrauch immens.
Infill	s. Füllung
Layer Height	s. Schichthöhe
Makerbot	3D-Drucker Hersteller aus den USA. Ehemals Weltmarktführer. makerbot.com
Normale	Normale definieren die Ausrichtung eines Polygons. Man kann sich die Normale wie ein senkrecht zur Oberfläche stehenden Vektor vorstellen.
Overhanging	s. Überhang
PLA	Ein Kunststoff. s. Kapitel 6
Polygon	Polygone sind geometrische Flächen in der 3D Modellierung. Ein Körper setzt sich aus einer Vielzahl von Polygonen zusammen. Die Anzahl der Polygone hängt von der Größe und Auflösung des Objekts ab.
PP	Ein Kunststoff. s. Kapitel 6
Print-In-Place	Ein Entwurf mit Teilen, die sofort nach dem Druck bewegen können (z.B. Kette).
Prusa	Prusa ist ein Opensource 3D-Drucker Hersteller. Der i3 ist der meistverwendete 3D-Drucker weltweit.
Raft	Man könnte ein Raft auch Grundschrift oder Fundament nennen. Flache Oberfläche, die eine Grundlage für die Haftung des Drucks bietet

Version 1.0

Die aktuelle Version dieses Dokuments kann auf 3d-druck.volker-wirtz.de heruntergeladen werden. Über den Newsletter können Sie sich über Aktualisierungen informieren lassen.



Feedback & Fehler gerne an mail@volker-wirtz.de

Letzte Aktualisierung: 07.11.2017

Köln, 2017

1 Der 3D-Drucker	3
1.1 Druckverfahren	3
1.2 Vorbereitungen	4
2. Basics	6
2.1 Infill, Shells & Layer	6
2.2 Überhänge & Brücken	8
2.3 Orientierung auf der Druckplatte	9
2.4 Kleine Details	10
2.5 Wasserdichte Modelle	11
2.6 Überschneidende Geometrie	11
3. Advanced	12
3.1 Design zum Zusammensetzen	12
3.2 Druck pausieren	13
3.3 Bewegungsfreiraum bei zusammengesetzten Teilen	14
3.4 Print-in-Place Zusammensetzung	15
3.5 Nachbearbeitung	15
3.6 Polygone	16
3.7 Modifikation organischer Formen	17
3.8 Umgedrehte Normale	17
4. Darauf sollte man achten...	19
4.1 ... bei der Konstruktion	19
4.2 ... beim Druck	19
4.3 Weitere Tipps	20
5. Datenbanken für Vorlagen	21
6. Software	25
6.1 Software zur Gestaltung	25
6.1.1 Übersicht gratis Software (Mac & PC)	27
6.1.3 iPad Apps	33
6.2 Software zum Drucken	34
7. Filamente	36
8. Lösung häufiger Probleme	37
8.1 Thermischer Verzug (Warp-Effekt)	37
8.2 Kalibrierung	39
8.3 Körper verrutscht auf der Druckplatte	39

12. Glossar

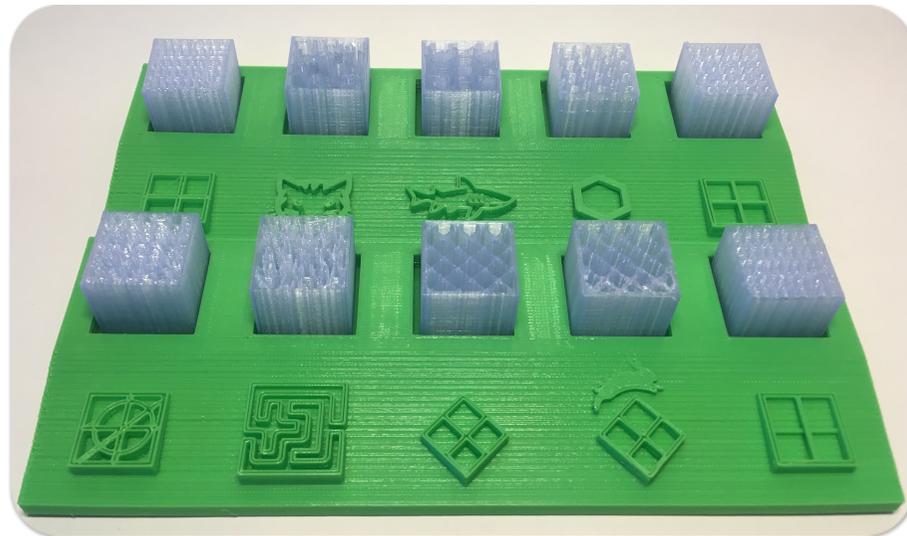
.amf	Offenes Dateiformat für additive Fertigung. Im Unterschied zu STL sind Farb- und Materialinformationen hier enthalten.
.Makerbot	Dateityp, den MakerBot Replicator 3D-Drucker zum Drucken verwenden; nur von MakerBot Druckern lesbar
.OBJ	Object-Dateiformat. Gängiger Dateityp in der Bildschirmvisualisierung, wird ebenfalls häufig im 3D-Druck verwendet.
.STL	Stereolithographie-Dateiformat. Gängiger Dateityp im 3D-Druck.
.SVG	Dateiformat für 2D-Vektorgrafiken. Sie können Ausgangspunkt für eine 3D-Modellierung sein.
.Thing	Dateityp für gespeicherte MakerBot Desktop-Layouts. Dieses Dateiformat ist nur mit MakerBot Software kompatibel!
.x3g	Von früheren Drucker Generationen verwendeter Dateityp, wird heute nicht mehr unterstützt.
ABS	Ein Kunststoff. <i>s. Kapitel 6</i>
Auflösung	Die Auflösung beim 3D-Druck hängt von der Anzahl der Polygone in der CAD-Datei ab. Aber auch die Einstellungen des Druckers können die Auflösung beeinflussen. Die Auflösung in z-Achse wird von der Schichthöhe beeinflusst. Die Auflösung in x- und y-Achse kann bei mancher Software ebenfalls zu Gunsten der Druckgeschwindigkeit angepasst werden (z.B. Draft-Mode).
Bridging	<i>s. Brücke</i>
Brücke	Bei einem schichtweisen Druckverfahren muss in der Regel eine neue Schicht auf eine bestehende Schicht aufgetragen werden. Ist dies nicht möglich, kann sich durch Stützen beholfen werden, die nach dem Druck von Hand entfernt werden müssen. Ist jedoch in in der Nähe eine bestehende Schicht, kann der 3D-Drucker durch geschickte Temperaturanpassung und Materialzufuhr eine Brücke zwischen den vorhanden Punkten aufspannen. Hierfür senkt der Drucker kurzzeitig ein wenig die Temperatur des Druckkopfs, um die Abkühlzeit zu verkürzen. Die Qualität einer Brücke hängt entscheidend von seiner Länge ab und sollte nicht länger als 6cm sein. Brücken sparen im Vergleich zu Stützen Material, Druck- und Nachbearbeitungszeit.
CAD	<i>s. Computer Aided Design</i>
CNC	Computerized Numerical Control (CNC), übersetzt „rechnergestützte numerische Steuerung“ von Werkzeugen. CNC-Maschinen haben nur bedingt etwas mit dem Thema 3D-Druck zu tun, da sie nicht Additiv arbeiten.
CSG	<i>s- Constructive Solid Geometry</i>
Computer Aided Design	Als Computer-aided design (rechnerunterstütztes Konstruieren) bezeichnet man die Konstruktion eines Produkts mittels EDV.

11. Quellenverzeichnis

Ale Fotos, Grafiken und Screenshots von Volker Wirtz erstellt.

#	1	2	3	4	5
Name	Linear	Cat Fill	Shark Fill	Hexagonal	Moroccan Star
Druckzeit	20m	23	27	22m	27m

#	6	7	8	9	10
Name	Sunglasses	Hilbert Fill	Diamond	Diamond Fast	Linear Interleaved
Druckzeit	27m	23m	22m	22m	20m



Download des Probekörpers:
3D-Print Examples by iv0Lk3r

www.thingiverse.com/thing:2041089
 Creative Commons - Attribution



8.4 Körper lässt sich nicht von der Druckplatte lösen	40
8.5 Filamentstau im Extruder (Filament Jam)	41
8.6 Unvollständiger Druck	42
9. Nützliche Webseiten	43
10. Übersicht Druckzeit	46
10.1 Druckzeiten mit MakerBot Print	46
10.2 Druckzeiten mit Simplify 3D	47
10.3 Formen der Volumenfüllungen in MakerBot Print	48
11. Quellenverzeichnis	49
12. Glossar	50

1 Der 3D-Drucker

1.1 Druckverfahren

Die meisten 3D-Drucker drucken in einem additiven Schicht-verfahren (FDM 3D-Druck¹). Es ist wichtig, sich bei der Erstellung eines Drucks sich dieses Verfahren vor Augen zu führen, da sich hier deutlich Limitierungen des Verfahrens zeigen. Eine neue Schicht sollte stets eine Unterlage besitzen (s. *Stützen*).



Als Faustregel gilt das **Sandburgen Prinzip**:

Kann das Objekt mit feuchtem Sand gebaut werden, so ist es in der Regel druckbar. Ist dies nicht möglich, so sollten einige Anpassungen vorgenommen werden (*nächstes und übernächstes Kapitel*).

¹ In Kapitel 11 befindet sich ein Glossar, dass die wichtigsten Fachbegriffe und Abkürzungen in Kürze erklärt.

10.3 Formen der Volumenfüllungen in MakerBot Print

Testkörper: Würfel (20mm x 20mm x 20mm)

Alle Probekörper wurden mit Raft, 20% Volumenfüllung und 0,2 mm Schichthöhe gedruckt.

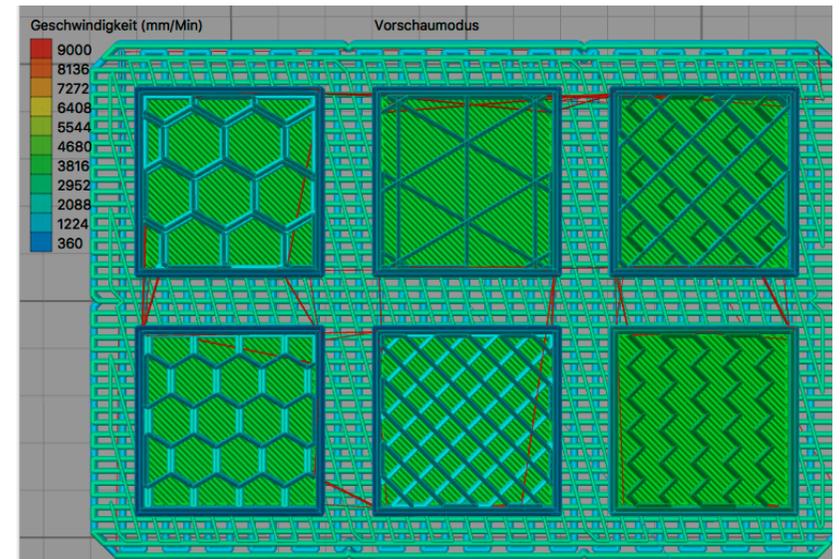
Software: MakerBot Print 2.0.1

Drucker: MakerBot Replicator 5th Generation

Druckzeit nur mit der Vorschau in der Software errechnet.

Formen der Volumenfüllung

	Honeycomb Fast (1)	Honeycomb Full (2)	Triangular (3)	Grid (4)	Rectilinear (5)	Wiggle (6)
Schichthöhe	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm
Konturschichten	2	2	2	2	2	2
Volumenfüllung	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Druckzeit	0h 22m	0h 22m	0h 22m	0h 23m	0h 23m	0h 22m



Download des Probekörpers:
3D-Print Examples by iv0Lk3r
www.thingiverse.com/thing:2041089
 Creative Commons - Attribution



10.2 Druckzeiten mit Simplify 3D

Testkörper: Würfel (20mm x 20mm x 20mm)

Alle Probekörper wurden mit Raft gedruckt.

Software: Simplify 3D 3.1

Drucker: MakerBot Replicator 5th Generation

Hier wird nur die reine Druckzeit mit einer Stoppuhr ermittelt.

Schichthöhe (Layer Height)

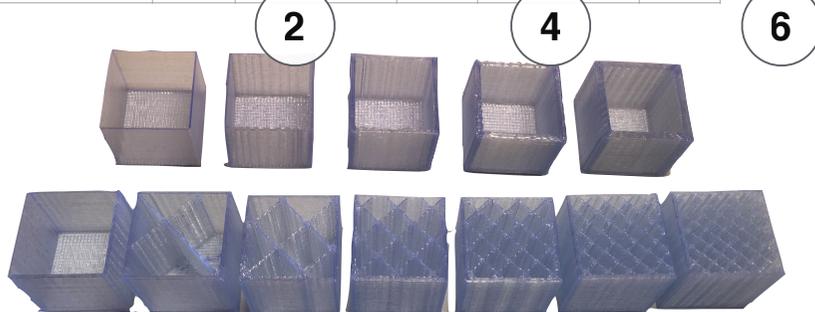
Schichthöhe	0,4 mm	0,3 mm	0,2 mm	0,1 mm
Konturschichten	2	2	2	2
Volumenfüllung	6 %	6 %	6 %	6 %
Druckzeit	0h 10m	0h 14m	0h 20m	0h 32m

Konturschichten (Shells)

Konturschichten	0	1	2	3	4	5
Schichthöhe	0,2 mm					
Volumenfüllung	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Druckzeit	0h 0m	0h 15m	0h 16m	0h 18m	0h 21m	0h 24m

Volumenfüllung (Infill)

Volumenfüllung	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Schichthöhe	0,2 mm						
Konturschichten	2	2	2	2	2	2	2
Druckzeit	0h 16m	0h 20m	0h 22m	0h 25m	0h 29m	0h 31m	0h 36m



Download des Probekörpers:

3D-Print Examples by iV0Lk3r

www.thingiverse.com/thing:2041089

Creative Commons - Attribution



1.2 Vorbereitungen

☑ Drucker einschalten

☑ Die Druckplatte sollte stets kalibriert sein. Moderne 3D-Drucker, wie der MakerBot Replicator 5th Gen, haben hierfür eine halbautomatisierte Kalibrierungsfunktion (Einstellungen/ Kalibrieren).

Einfach den Schritten auf dem Display des Druckers folgen.

Die Kalibrierung sollte spätestens alle 20 Drucke oder nach dem Bewegen des Druckers überprüft werden.

☑ Filament laden:

☑ Man sollte stets darauf achten, dass das sich das Filament leicht abrollen lässt und nirgends verknotet ist oder sich überschneidet.

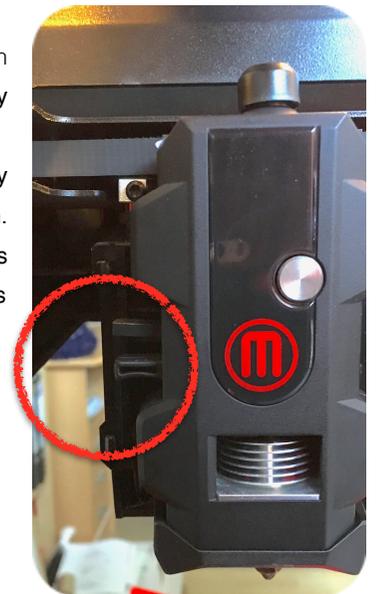
☑ Anschließend das eingelegte Filament durch den transparenten Kunststoffschlauch am Drucker führen bis das Filament etwa 5cm heraussteht.

☑ Im Drucker Menü Filament / Filament laden auswählen und den Anweisungen auf dem Display folgen.

☑ Filament entladen:

☑ Im Drucker Menü Filament / Filament entladen auswählen und den Anweisungen auf dem Display folgen.

☑ **WICHTIG:** Erst wenn der Drucker auf dem Display das Filament frei gibt, das Filament entnehmen. Hierfür während der Entnahme den rechts markierten Schalter ziehen und vorsichtig das Filament herausziehen. Dies sollte ohne einen merkbaren Widerstand möglich sein. Ist dies nicht der Fall, muss der Vorgang zur Filament Entnahme erneut durchgeführt werden.



☑ **Bevor** die Drucksoftware ihren Auftrag an den Drucker sendet, wandelt die Software das 3D-Modell in eine Vielzahl von 2D-Schichten um. Diesen Vorgang nennt man Slicing. Je nach Modell und Rechnerleistung dauert dieser Vorgang eine Weile. Die Anzahl der Schichten beeinflusst die Druckgeschwindigkeit maßgeblich. Die Anzahl der Schichten verhält sich linear zur Druckgeschwindigkeit.

Natürlich wird auch die Auflösung durch die Schichthöhe beeinflusst.

0,2mm Schichthöhe ist ein guter Kompromiss zwischen Auflösung und Druckgeschwindigkeit.



10. Übersicht Druckzeit

10.1 Druckzeiten mit MakerBot Print

Testkörper: Würfel (20mm x 20mm x 20mm)

Alle Probekörper wurden mit Raft gedruckt.

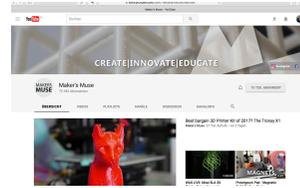
Software: MakerBot Print 1.8.1

Drucker: MakerBot Replicator 5th Generation

Hier wird nur die reine Druckzeit laut Display des Druckers dokumentiert.

3D-Printing YouTube Channel

Der australische Maker Angus Deveson hat wohl einen der größten YouTube Kanäle rund um das Thema 3D-Druck. In seinen Video-Tutorials erklärt er die Einstiege in den 3D-Druck, aber gibt auch Tipps für Experten. Man spürt in den Video die Begeisterung des Makers zum Thema.



● Sprache: Englisch

► Link: youtube.com/user/TheMakersMuse



Instructables

Diese Webseite ist wohl eine der größten Webseiten der Maker Community- Es finden sich hier zahlreiche Anleitungen für Do It Yourself Projekte. Die Anleitungen sind einfache Step by Step Anleitungen. Natürlich finden sich hier nicht nur Projekte, die ausschließlich mit einem 3D-Drucker zu bewältigen wären.



● Sprache: Englisch

► Link: instructables.com



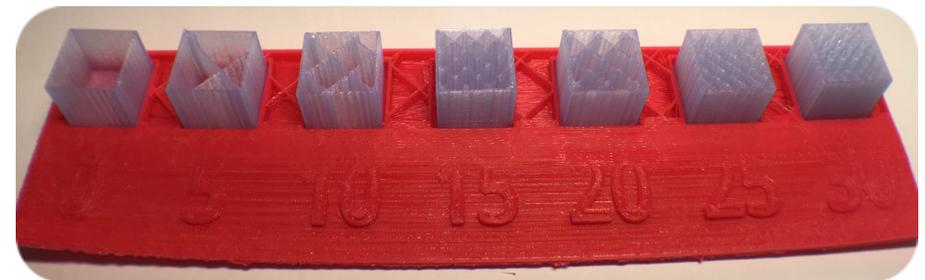
2. Basics

2.1 Infill, Shells & Layer

Jeder gedruckte Körper besteht aus einer Außenhaut und einem Innenleben. Die am Computer erstellte STL-Datei besteht grundsätzlich nur aus Informationen bezüglich der äußeren Form. Jedoch ist es für die Stabilität eines Objekts wichtig, auch ein stützendes Innenleben zu besitzen. Diese Füllung (Infill) kann durch verschiedene Formen aufgebaut sein. Eine Wabe bietet die beste Stabilität bei wenig Materialeinsatz. Eine Rechteckige Struktur beschleunigt hingegen den Druck, da der Drucker weniger Kurven abfahren muss.

Die Dichte der inneren Stützstruktur (**Infill**) kann vor dem Druck in Prozent angegeben werden. Die Grundeinstellung beträgt 10 %.

Für die meisten Körper reichen jedoch auch 5 % Infill vollkommen aus. Die höchste Festigkeit bietet ein Infill mit 40%. Werte über 40% dienen nicht der Festigkeit, erhöhen jedoch den Materialverbrauch, das Gewicht des Körpers und die Druckgeschwindigkeit. Zudem kann sich die Oberfläche durch thermische Prozesse bei höherem Infill verziehen. Durch die Form des Infills kann sich die Druckgeschwindigkeit und die Stabilität verändert. Bei einer intensiven Füllung (ab etwa 70%) kann zu dem die Oberfläche Unebenheiten aufweisen.

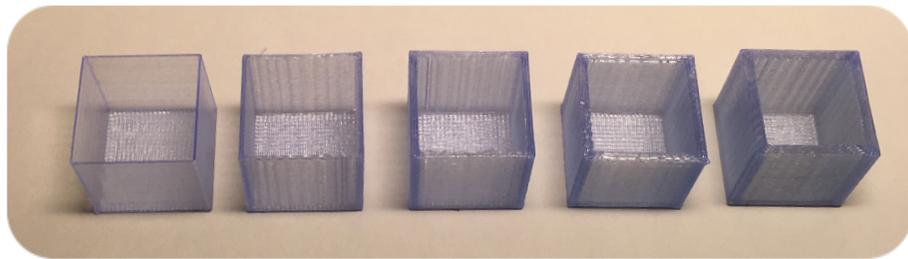


Probekörper Quader mit je 2cm Kantenlänge mit Infill von 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % und 30 %.²

² Weitere Informationen in Kapitel 11.

Die Auflösung (**Resolution**) beeinflusst die Schichthöhe. Standard sind 0,2 mm. Dieser Wert ist ein guter Kompromiss zwischen Druckgeschwindigkeit und Auflösung. Ein Laie wird zwischen 0,3 mm und 0,1 mm keinen Unterschied feststellen. Auch einem Experten wird es im direkten Vergleich schwer fallen, zwischen einer Auflösung von 0,1 mm und 0,2mm zu unterscheiden.

Die äußere Haut eines Körpers besteht in der digitalen STL-Welt aus nur einer Schicht. Um jedoch eine stabilere Struktur zu erhalten, ist es ratsam mit mindestens zwei Schichten (**Shells**) zu drucken. Körper mit fünf oder sechs Shells sind besonders stabil und eignen sich für funktionale Objekte. Auch wenn ein Körper nach dem Druck geschliffen werden muss, ist es ratsam mehrere Shells zu besitzen.



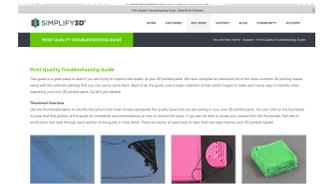
Probekörper mit verschiedenen Wandstärken. Von 1 bis 5 Schichten Wandstärke.

☑ Troubleshooting 3D-Druck

Problemchen und Probleme sind normal beim 3D-Druck. Der Druckersoftwarehersteller Simplify3D hat eine umfangreiche Sammlung von gängigen Fehlern und Möglichkeiten zur Problemlösung hier aufgelistet. Die Webseite ist durch zahlreiche Fotos sehr anschaulich. Die Informationen dieser Webseite lassen sich auch mit Software anderer Hersteller nutzen.

● Sprache: Englisch

► Link simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/



☑ Einstieg in 3D Modeling: Die wichtigsten Begriffe

Victor Karp hat eine umfangreiche Liste der wichtigsten Begriffe rund um das Thema 3D-Modelling zusammengestellt. Es geht also um Polygone, Normals, Sculpting etc.

● Sprache: Deutsch

► Link: victorkarp.wordpress.com/2016/03/02/einstieg-in-3d-modeling-die-wichtigsten-begriffe/



9. Nützliche Webseiten

☑ MakerBot Webinar

Nach der kostenfreien Registrierung kann man auf eine umfangreiche Webinarsammlung zugreifen, die besonders auf Einsteiger zugeschnitten ist.

Die Videos sind leicht verständlich. Die in den Videos verwendeten Dateien können heruntergeladen werden. Hierdurch kann der Lerninhalt des Webinars leicht mitverfolgt werden.



● Sprache: Englisch

► Link: pages.makerbot.com/3D-Design-Tips-and-Tricks-Webinar.html



☑ 3D-Druck in der Schule

Informationen und Orientierung für den Einstieg in den Unterricht

Nützliche Handreichung, die sich an LehrerInnen in NRW richtet. Hilfreiches Dokument insbesondere für 3D-Druck Einsteiger.



● Sprache: Deutsch

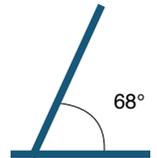
► Link: schulentwicklung.nrw.de/cms/upload/Faecher_Seiten/faecheruebergreifend/3D-Druck_in_der_Schule.pdf



2.2 Überhänge & Brücken

Überhänge (*Overhanging*)

- **68° Regel:** Bei Überhängen sollte man darauf achten einen Winkel von 68° nicht zu überschreiten, da darüber hinaus das Filament „abstürzen“ kann, da man mehr oder weniger in freier Luft druckt.
- Ab einem Winkel von 68° sollte man Stützen verwenden. **Stützen** (*Support*) haben leider den Nachteil, dass sich die Druckzeit verlängert und dass die Stützen nach dem Druck entfernt werden müssen. Deshalb sollte man nach Möglichkeit auf Stützen und Winkel über 68° verzichten.
- Die 68°-Regel gilt nur für den Druck mit PLA. Bei anderen Werkstoffen gelten andere Regeln.³



Brücken (*Bridging*)

- Brücken schließen eine Lücke in freier Luft. Brücken sind immer problematisch, da der Druckfaden in freier Luft gespannt wird. Hierfür trickst der Drucker ein wenig. Der Drucker senkt für die Brücke die Temperatur, so dass der Kunststofffaden schneller antrocknet.
- Die Unterseite einer Brücke daher meist ausgefranst oder gebogen.
- Der *MakerBot Replicator 5th Gen* kann beispielsweise eine Brücke bis maximal 8 cm Länge spannen. Diese extreme Länge ist jedoch nicht zu empfehlen. Brücken bis 2cm stellen meist kein Problem dar. Desto länger die Brücke ist, desto mehr hängt die gespannte Brücke durch.
- Brücken funktionieren ohne Stützmaterial und werden von der Drucksoftware automatisch berechnet.
- Bei längeren Brücken ist es jedoch zwingend notwendig, Stützen zu verwenden. Diese Stützen müssen jedoch später entfernt werden und sind deshalb nach Möglichkeit zu vermeiden.



Brücken mit bis zu 6cm Spannweite

³ Siehe Kapitel 7.

2.3 Orientierung auf der Druckplatte

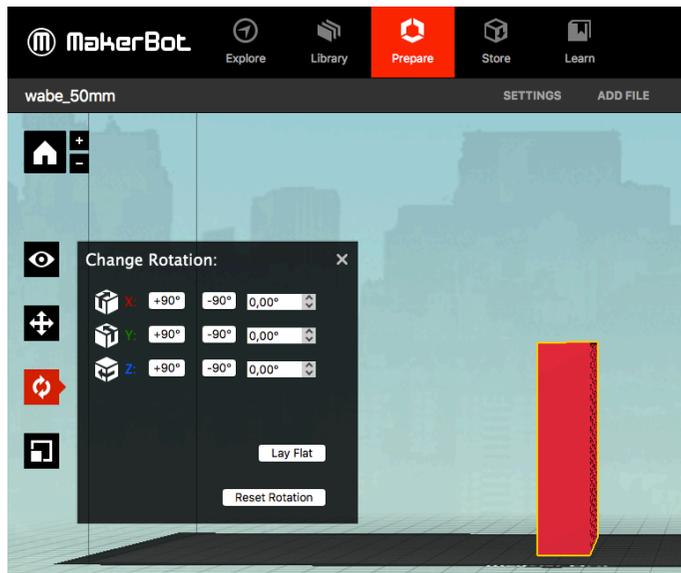
- Wie oben beschrieben, sollte man nach Möglichkeit auf Überhänge und Brücken verzichten. Dies ist häufig durch eine Änderung der Orientierung möglich. Dadurch sind viele Gegenstände einfacher und schneller zu drucken, da auf Stützen verzichtet werden kann.

Die Stärke des Objekts wird durch die Orientierung ebenfalls beeinflusst:

- Horizontal (parallel zur Druckplatte) wird das Objekt stärker
(Ähnlich der Maserung im Holz)
- Auch die Auflösung wird durch die Orientierung beeinflusst.
- Horizontal: Geringere Auflösung
- Vertikal: Höhere Auflösung



Über 40kg hängen an einem gedruckten Karabinerhaken aus PLA



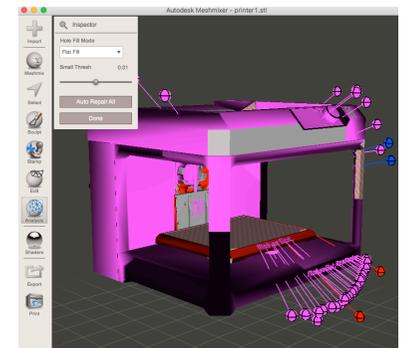
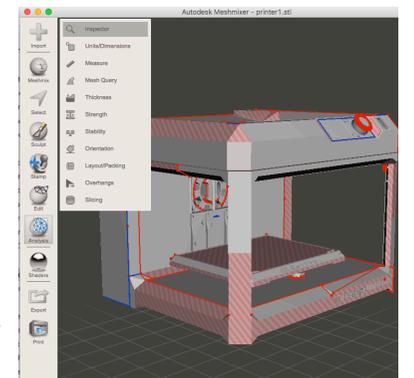
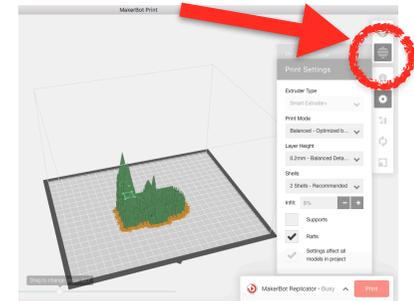
8.6 Unvollständiger Druck

Dies geschieht in der Regel, wenn die zu druckende Datei fehlerhaft ist. Eine Datei kann beim Export, Download oder Kopieren beschädigt werden.

Vor dem Druck sollte man immer in der **Print-Preview** den Druck kontrollieren. Grundsätzlich bildet die Preview den Druckvorgang korrekt ab. Sollte hier ein Objekt unvollständig auf dem Bildschirm erscheinen, wird der Druck ebenfalls unvollständig sein.

Lösung:

- ☑ Datei neu exportieren oder downloaden.
- ☑ Die Datei mit der Software **Meshmixer** (s. Kapitel 6) auf Fehler untersuchen. Hierfür gibt es in der Software unter **Analysis / Inspector** ein Analysewerkzeug. Hier können mit „**Autorepair**“ in der Regel alle Fehler beseitigt werden. Natürlich ist im Anschluss der Körper visuell auf Fehler auf dem Computerbildschirm zu überprüfen. Nur eine fehlerfreie Datei führt zu einem erfolgreichen Druck



8.5 Filamentstau im Extruder (Filament Jam)

Filamentstau tritt generell eher selten auf. Wenn der Extruder viele Druckstunden im Einsatz war, kann dies jedoch vermehrt auftreten, da sich kleinere Filamentablagerungen im Extruder ablagern können, die den Filamentfluss behindern können. Auch Produktionsfehler des Filamentherstellers können zu einem Filamentstau führen, da gerade günstige Anbieter größere Fertigungstoleranzen aufweisen.

Auch eine Fehlbedienung beim Filament Entladen kann zu einem Filamentstau führen, da Filamentreste im Extruder zurückbleiben können.

Erste Hilfe bei einem Filamentstau:

- ☑ Meist wird der Druck automatisch pausiert, geschieht dies nicht, bitte den Druck pausieren.
- ☑ Anschließend das Filament entladen.
- ☑ Die Filamentzufuhr-Öffnung auf Filamentreste prüfen. Falls Überreste in der Öffnung stecken, das Filament vorsichtig und ohne Gewalt herausnehmen.
- ☑ Abschließend das Filament wieder laden und den Druck fortsetzen.

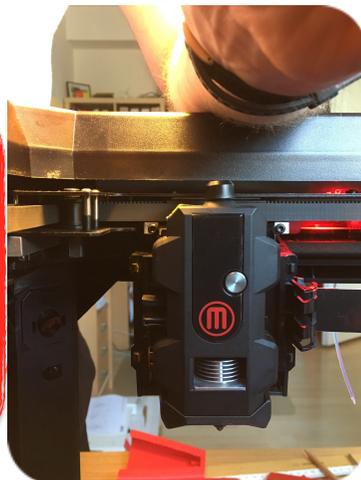
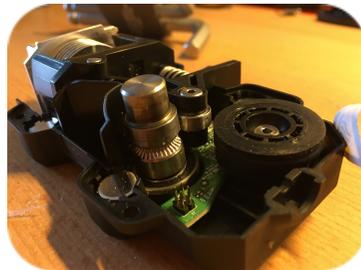
Meldet der Drucker weiterhin einen Filamentstau ist zwingend Hilfe herbei zu rufen.

Der Extruder darf ausschließlich von geschulten Personen geöffnet werden!

Ein **Extruder** ist ein Präzisionswerkzeug und entsprechend **teuer!** Daher sollte er mit größter **Vorsicht** behandelt werden.

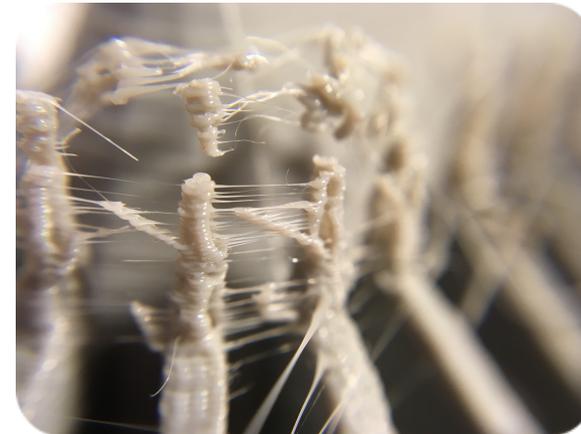


Bei hartnäckigem Filamentstau muss sogar der Extruder von geschultem Personal geöffnet werden.



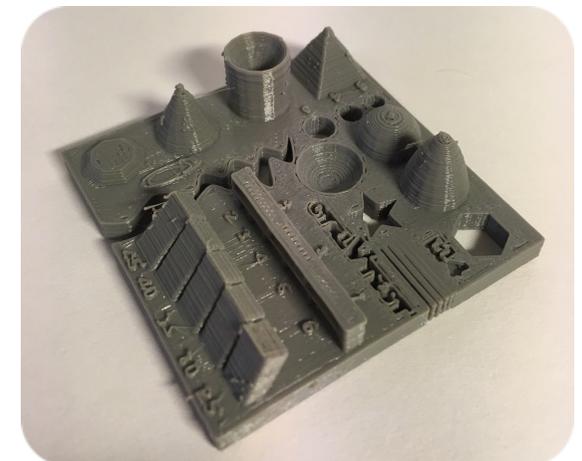
2.4 Kleine Details

- Kleine Details werden möglicherweise nicht (richtig) gedruckt, deshalb sollte auf Bereiche <1 mm verzichtet werden.
- Die Kontaktfläche mit der Druckplatte sollte möglichst groß sein, um die Adhäsion zu vergrößern. Kleine Details können auf der Druckplatte leicht beim Druckvorgang verrutschen.
- Supports & Rafts können eventuell helfen. Diese müssen jedoch nach dem Druck vorsichtig entfernt werden.



Die kleinen Details auf den gotischen Stützbögen eines Modell des Kölner Doms stellten sich bei diesem Druck als problematisch heraus.

Der Probedruck eines Benchmarktest zeigt die Grenzen der aktuellen Druckerkonfiguration.



2.5 Wasserdichte Modelle

Wie der Name sagt: Der Gegenstand muss eine geschlossene Oberfläche haben, so dass er wasserdicht ist.

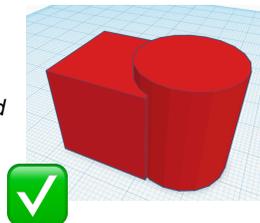
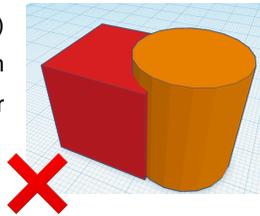
- Eine kontinuierliche Außenhaut ist zwingend notwendig, da eine offene Außenhaut von den meisten Druckern als Fehler angesehen wird.
- Es muss darauf geachtet werden, dass die Oberfläche keine
 - Löcher,
 - Spalten,
 - und fehlende Teilebesitzt.

2.6 Überschneidende Geometrie

- In der rechnergestützten Konstruktion (CAD-Konstruktion) werden Objekte aus mehreren Formen zusammengesetzt. In der realen Welt würde man diese Formen miteinander verkleben. Dies muss auch in der virtuellen Welt gemacht werden.

Hierzu verwendet man am Rechner folgende Werkzeuge bei der Konstruktion:

- Kombinieren (Combine),
- Verschmelzen (Melt)
- Gruppieren (Group)
- *Dies ist wichtig, um wasserdichte Objekte zu erzeugen und muss vor dem Export der Druckdatei erledigt werden.*



- Merke: Wenn es in der realen Welt ein Objekt sein soll, soll es auch in der virtuellen Welt ein sein.

8.4 Körper lässt sich nicht von der Druckplatte lösen

Eigentlich lässt sich jeder Körper mit etwas Vorsicht – und vor allem ohne Gewalt – von der Druckplatte lösen. Dies sollte stets ohne Gewalt passieren!

Immer ist die Druckplatte aus dem Drucker zu nehmen, damit die Kalibrierung und die Feinmechanik keinen Schaden nimmt.

Mit einem flexiblen Spachtel lässt sich nun das Objekt vorsichtig anheben und lösen.



8.2 Kalibrierung

Die Kalibrierung des Druckers ist entscheidend für das Gelingen des Drucks. Viele Drucke misslingen, weil die Druckplatte nicht mehr richtig kalibriert ist. Ein wichtiges Indiz für eine dekalibrierte Druckplatte liefert die Linie, die der Drucker zu Beginn des Drucks zieht.

	Problem	Lösung
	rechts zu niedrig	rechts absenken
	vorne zu niedrig	vorne absenken
	Perfekt	-
	vorne zu hoch	vorn anheben
	links zu hoch	links anheben

Sollte die Druckplatte neu kalibriert werden, ist dies einfach mit Hilfe eines Assistenten am Drucker ohne Werkzeug leicht durchzuführen.

Zum Assistenten gelangt man bei MakerBot 3D-Druckern über das Druckermenü:

Einstellungen / Kalibrierung / Bauplatte ausrichten

8.3 Körper verrutscht auf der Druckplatte

Wenn ein Körper auf der Druckplatte verrutscht, liegt es meist daran, dass der Körper zu wenig Haftpunkte auf der Druckplatte hat.

Man sollte unbedingt mit einem *Raft* drucken. Diese Schicht liegt unter dem Körper und vergrößert die Kontaktfläche zur Druckplatte immens. Gleichzeitig lässt sich das Raft leicht vom gedruckten Körper ablösen.

Wurde mit einem Raft gedruckt und der Körper verrutscht, dennoch, kann es helfen den Körper entsprechend zu drehen, so dass sich die Haftfläche vergrößert.

Generell ist immer darauf zu achten, die Druckplatte nicht zu verunreinigen und fettfrei zu halten. Das bedeutet: Die Druckplatte möglichst wenig mit den bloßen Fingern berühren.



Misslungen Druck, weil die Objekte auf der Druckplatte verrutschten.

3. Advanced

3.1 Design zum Zusammensetzen



Manchmal ist es von Vorteil einen Körper nicht im Ganzen, sondern in kleineren Einzelteilen zu drucken und mit Sekundenkleber zu verkleben.

Sinnvoll ist der Einsatz von zusammengesetzten Bauteilen bei:

- Zu große Überhänge
 - *Alternative Lösung: Stützen (Support) verwenden*
- Die Kontaktfläche mit der Druckplatte ist zu klein
 - *Alternative Lösung: Raft verwenden oder Objekt drehen*
- Warping (Thermischer Verzug⁴)
- Modelle größer als die Druckplatte
- Modell aus Bauteilen mit verschiedenen Farben
- Modell erhält funktionale Eigenschaften durch Gelenke
- Auf Verbindungen achten
 - Es sollte darauf geachtet werden, dass Fläche und ausreichend große Flächen zum kleben vorhanden sind
 - Eventuell können Steckverbindungen konstruiert werden.

⁴ Siehe Kapitel 8.

3.2 Druck pausieren

- Der Druck kann jederzeit durch das Interface des Druckers, die Software auf dem Rechner, die App auf dem Handy oder dem Tablet pausiert werden. Grundsätzlich sollte eine Pause den Druck nicht großartig beeinträchtigen. An großen planen Flächen kann die Pause jedoch sichtbare und fühlbare Spuren in der Oberfläche hinterlassen (*s. rechts*).



Absatz durch Druckpause

- Durch den Filamentwechsel lassen sich Farbmischungen realisieren. Allerdings hat jede Farbe und jede Filamentcharge andere thermische Eigenschaften. Die Übergänge zwischen den verschiedenen Filamentrollen können fühlbare Höhenunterschiede aufweisen. Bei funktionalen Modellen, wie bei Zahnrädern, können sich diese Unterschiede störend bemerkbar machen.



- Während der Pause eines Drucks lassen sich leicht in Hohlräume Zusatzgewichte, Accessoires, Magnete, RFID-Chips, Verbindungsstücke, Halterungen etc. einsetzen. Diese Hohlräume sollten bei der Konstruktion am Rechner bedacht und vorbereitet werden.



Rescuetool
Teppichmesser Klinge in Druck integriert.

liegende Wände können aufgrund mangelhafter Möglichkeit der Wärmeabfuhr zu Warping führen.

- ☑ **Mit hoher Drucktemperatur drucken.**

10 °C mehr, als der Filamenthersteller empfiehlt helfen häufig.

- ☑ **Abstand zum Druckbett justieren.**

Evtl. ist dieser etwas zu hoch oder ungleichmäßig.

- ☑ **Zugluft in der Nähe des Druckers vermeiden.**

Ein geschlossener Bauraum ist hier klar von Vorteil.

- ☑ **Lüfter zu stark eingestellt?**

Dies ist eine Experteneinstellung und sollte nur von solchen verändert werden.

- ☑ **Schwarzes Material ist generell empfindlich für thermischen Verzug.**

Evtl. andere Farbe wählen.

- ☑ **Ist die Oberfläche der Druckplatte (*Kaptonband oder Blue Tape*) beschädigt?**

Auf eine glatte, blasenfreie Oberfläche achten!

- ☑ **Große Körper teilen**

Alternativ kann auch versucht werden, die Form des Körpers so anzupassen, dass keine langen und zusammenhängenden Flächen vorhanden sind. Die separat gedruckten Teile können anschließend mit Sekundenkleber verklebt werden.

8. Lösung häufiger Probleme

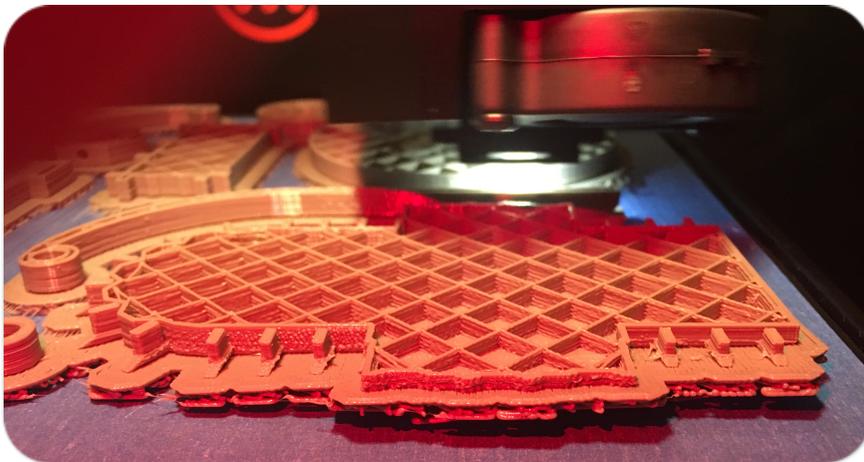
8.1 Thermischer Verzug (Warp-Effekt)

Eines der häufigsten Ärgernisse beim 3D-Drucken ist der thermische Verzug, in der Fachsprache auch **Warp-Effekt** genannt.

Dieser tritt durch die Temperaturunterschiede während des Drucks im Material auf.

Das Material löst sich bei diesem Effekt von der Druckplatte ab.

Besonders anfällig sind große Körper.



Rechts löst sich das Objekt von der Druckplatte deutlich.

Tipps & Tricks gegen den Verzug-Effekt

- ☑ Die erste Schicht ist die wichtigste:

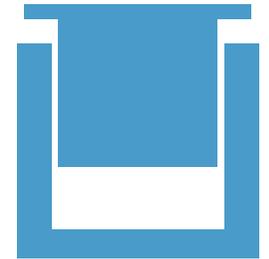
Die Druckplatte sollte daher stets frei von Fett, Staub, Filamentresten etc. sein.

- ☑ Die Volumenfüllung verringern.

Warping kann meist durch eine Volumenfüllung von <10 % verhindert oder verringert werden. Desto weniger Material beim Druck verwendet wird, desto geringer sind die auftretenden Kräfte des thermischen Verzugs. Auch dicke Wände und eng beieinander

3.3 Bewegungsfreiraum bei zusammengesetzten Teilen

- Interaktive oder funktionale Teile benötigen ein klein wenig Spielraum (Bewegungsfreiraum).
 - Verschiedene Bewegungsfreiräume erzeugen unterschiedliche Passformen:
 - **Press Fit (0 mm bis 0,5 mm)**
Nur mit großen Druck ist eine Verbindung herzustellen oder zu lösen.
 - **Close Fit (0,5 mm bis 1 mm)**
Mit mittlerem Kraftaufwand lassen sich diese Verbindungen bewegen.
 - **Clearance Fit (1 mm)**
Diese Verbindungen lassen sich sehr leicht bewegen.
 - Die Orientierung beim Druck kann die Toleranz beeinflussen.
 - Beim Erstarren des Filaments schrumpft der Körper ein wenig. Dieser Prozess ist abhängig von Material und Farbe. Eine Kombination verschiedener Filamente kann zu Problemen führen.
 - **Testen, testen, testen.**
- ★ **Tipps:** Bei großen Objekten erst die interaktiven Teile separat drucken und testen, dann erst das gesamte Objekt drucken. So können Ressourcen (Zeit & Geld) gespart werden.

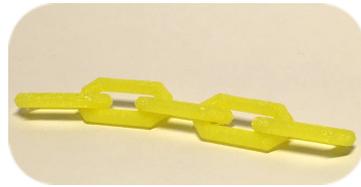


3.4 Print-in-Place Zusammensetzung

Durch Print-in-Place können bewegliche Baugruppen in einem einzigen Druck erzeugt werden.

Hierzu wird die 68°-Regel, Bridging und geschickte Lückensetzung genutzt.

So können Teile geschaffen werden, die nicht auf eine andere Art herstellbar wären (z.B. *nahtlose Kette*).



Kette aus geschlossenen Gliedern

3.5 Nachbearbeitung

- Manchmal muss die Oberfläche vorsichtig geschliffen werden. Hierbei ist auf ausreichend Konturschichtdicke zu achten.
- Größere Teile (z.B. Stützmaterial) lässt sich super mit einer Zange und einer Pfeile entfernen.
- Auf PLA kann man super mit **Acrylfarbe** malen.
- Man kann Farbe auch als Guss auftragen.
 - *Auf den Schmelzpunkt achten!*
- Mit Sekundenkleber können weitere Teile (z.B. *Münzen, Magnete, Elektronik etc.*) hinzugefügt werden.



7. Filamente

PLA

Poly lactide oder Polymilchsäuren

Extrudertemperatur: 215 °C ± 10 °C

BuildPlate: 40 °C bis 60 °C

(Raumtemperatur genügt in der Regel)

Druckgeschwindigkeit: 90 mm/s

In MakerBot 3D-Druckern lässt sich ausschließlich PLA verwenden.

ABS

Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer

Extrudertemperatur: 230 °C ±10 °C

BuildPlate: 110 °C

Druckgeschwindigkeit: 100 mm/s

PP

Polypropylen

Extrudertemperatur: 240 °C

BuildPlate: 80 °C bis 90 °C

Lebensmittelecht, extrem hohes Risiko von Verzug, sehr wenig Adhäsion auf der Druckplatte.

HIPS

High Impact Polystyrene

Extrudertemperatur: 230 °C ±10 °C

BuildPlate: 90 °C

Druckgeschwindigkeit: 90 mm/s

AQUASOLVE™

Extrudertemperatur: 180 - 205°C

Druckgeschwindigkeit: 90mm/s

FlexPLA

Extrudertemperatur: 210°C ±10°C

BuildPlate: 60°C

Druckgeschwindigkeit: 60mm/s

Wood (LayWood)

Extrudertemperatur: 170 °C bis 210 °C

Druckgeschwindigkeit: 90 mm/s

Je höher die Temperatur, umso dunkler das Farbergebnis.

Hier muss ein wenig experimentiert werden, um den gewünschten Farbton zu finden.

LayBrick

Extrudertemperatur: 210 °C ±10 °C

Druckgeschwindigkeit: 90 mm/s

BendLay

Extrudertemperatur: 220 °C ±10 °C

Druckgeschwindigkeit: 90 mm/s

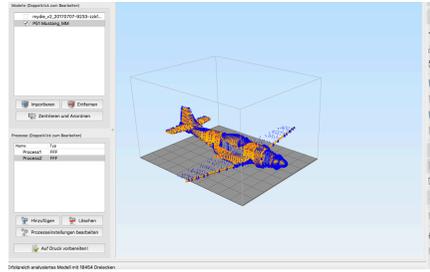
Nylon

Extrudertemperatur: 265 °C ±10 °C

Druckgeschwindigkeit: 90 mm/s

Simplify3D

Diese Software ist die Standardsoftware aller 3D-Druck-Profis. Für Einsteiger ist sie nicht geeignet, da die Einstellungsmöglichkeiten schnell überfordern. Für Fortgeschrittene und Profis bietet sie jedoch Möglichkeiten, auch innerhalb eines Drucks und einer Druckplatte verschiedene Einstellungen vorzunehmen und alle Parameter anzupassen. Auch das Stützmaterial lässt sich vollständig händisch bearbeiten. Die Software arbeitet mit allen bekannten Druckern zusammen.



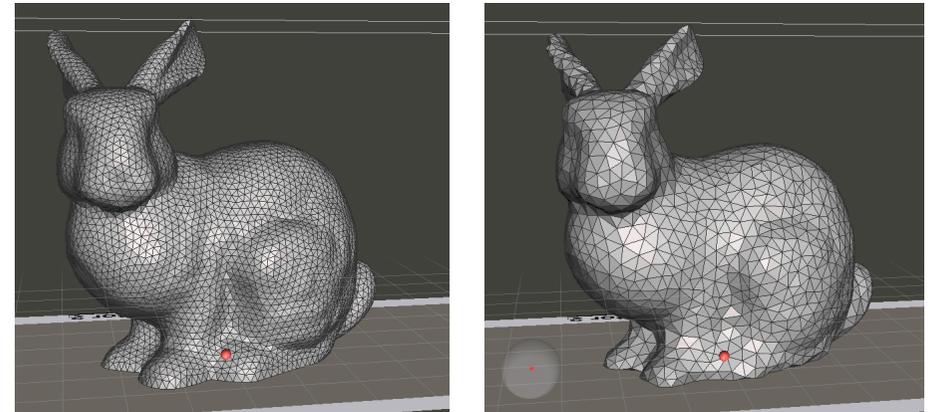
Preis: 149 US\$

Link: simplify3d.com

3.6 Polygone

Polygone sind geometrische Flächen in der 3D-Modellierung. Ein Körper setzt sich aus einer Vielzahl von Polygonen zusammen.

- Eine höhere Anzahl Polygone erzeugt mehr Details, aber verlangsamt zugleich den Druck.
- Die Anzahl der Polygone ist bei der Skalierung des Objekts zu beachten.
- Die Anzahl der Polygone beeinflusst die Dateigröße und somit die Rechenleistung des Computers und des Druckers.
- Ideal zur Anpassung der Polygonanzahl ist *Autodesk Meshmixer* (s. Kapitel 6).



Screenshot in Autodesk Meshmixer.

Links ca. 13.000 Polygone; Rechts ca. 4.700 Polygone

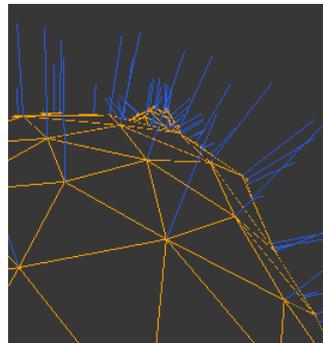
3.7 Modifikation organischer Formen

- Organische Figuren benötigen meist eine kleine Überarbeitung mit einem *Sculpting Programm* in der digitalen Vorbereitung für einen 3D-Druck.
- Schaffe nach Möglichkeit eine flache Oberfläche an der Unterseite, um eine große Haftwirkung an der Druckplatte zu erzeugen.
- Möglichkeiten: Flacher Schnitt, Pinsel zum angleichen oder in mehrere Bauteile zerlegen.
- Eventuell sollte die Skalierung angepasst werden.



3.8 Umgedrehte Normale

- Normale (*blau in der Zeichnung*) zeigen von der Oberfläche eines Polygons nach außen. Sie kennzeichnen die Oberfläche als Oberfläche und sollten beim Druck nach außen ausgerichtet sein.
- Modelle mit umgedrehten Normalen werden nicht korrekt *gesliced*, dies hat zur Folge dass der Drucker die Datei fehlerhaft oder gar nicht druckt.
- In der Druckvorschau sind diese Fehler leicht zu erkennen.



Die blauen Linien zeigen die Normalen auf einer Fläche aus Polygonen.

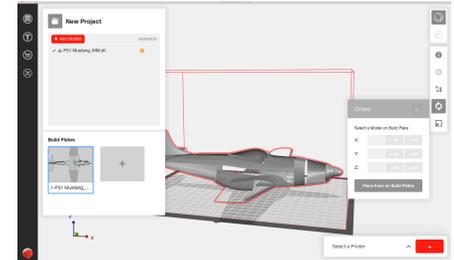
In der einfachen MakerBot Desktop Oberfläche sehen umgekehrte Normale schwarz aus.

- Dieses Problem kann in Meshmixer mit der „Reverse“-Funktion behoben werden.

6.2 Software zum Drucken

MakerBot Print

Diese Software ist die Standarddrucksoftware aller Makerbot 3D-Drucker. Sie ist perfekt für Einsteiger geeignet, da sie sich auf die wesentlichen Druckeinstellungen in der Standardansicht beschränkt. Einige wenige Experten Einstellungen verstecken sich in optional einblendbaren Untermenüs.

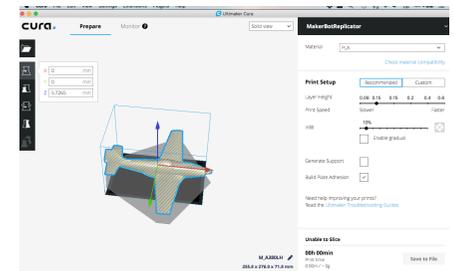


Generell sind die Einstellungsmöglichkeiten in dieser Software jedoch sehr beschränkt. 3D-Drucker anderer Hersteller lassen sich mit dieser Software nicht bedienen. MakerBot Drucker können mit dieser Software auch drahtlos über die MakerBot-Cloud bedient werden.

- Preis: gratis
- ▶ Link: makerbot.com

Cura

Diese Software ist die Standarddrucksoftware aller Ultimaker 3D-Drucker. Sie ist ebenfalls perfekt für Einsteiger geeignet. Jedoch bietet sie auch fortgeschrittenen Benutzern einer Vielzahl von Einstellungsmöglichkeiten.



Allerdings lassen sich die Einstellungen nur global für den gesamten Druck vornehmen.

Die Software lässt sich auch für 3D-Drucker anderer Hersteller nutzen.

- Preis: gratis
- ▶ Link: ultimaker.com

6.1.3 iPad Apps

Aktuell gibt es noch keine ernsthafte CAD-Software (App) auf dem iPad. Daher wird nur Software aufgelistet, ohne näher auf die Vor- und Nachteile einzugehen. Aktuell ist jedoch von einer rasanten Entwicklung in diesem Bereich auszugehen, daher lohnt es sich diese Apps im Auge zu behalten.

Printshop
MakerBot

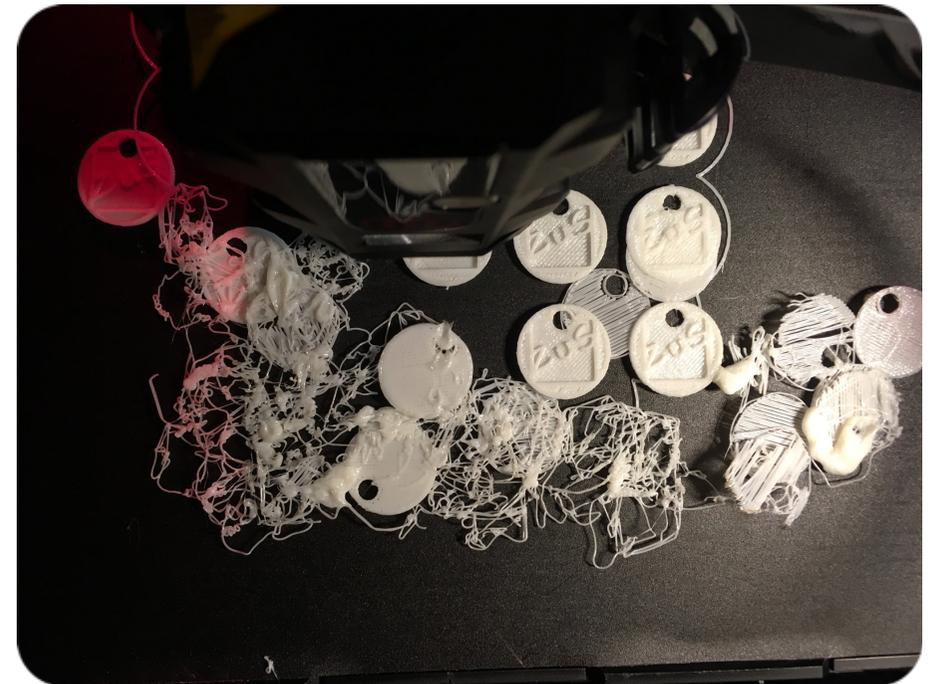
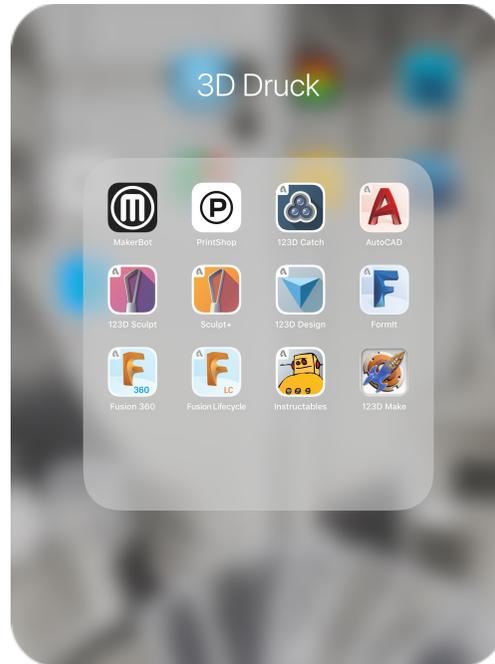
123 Sculpt+
Autodesk

123D Design
Autodesk

Fusion 360
Autodesk

AutoCAD 360
Autodesk

123D Catch
Autodesk



Nicht immer gelingt jeder Druck, deshalb ist auf eine Dinge zu achten.

4. Darauf sollte man achten...

4.1 ... bei der Konstruktion

- Überhänge** benötigen **Stützen**, wenn der Winkel größer als **68°** ist.
- Hat das Objekt eine **uneben Unterseite**, benötigt man mehr **Stützen**.
- Kleine Details** sind eventuell **nicht sichtbar**.
- Eine zu hohe **Anzahl der Polygone** verlangsamt den Druck.
- Passt die **Anzahl der Polygone** zur **Skalierung** und **Auflösung**?
- Manchmal ist es hilfreich, ein Objekt in **mehrere Bauteile** zu **zerlegen** und nach dem Druck mit Sekundenkleber zusammen zu setzen.
- Die **Orientierung** beeinflusst **Auflösung**, **Stärke**, **Überhänge** etc.

4.2 ... beim Druck

- Ist die Druckplatte **kalibriert**? (s. Kapitel 8.2)
- Ist die Oberfläche der Druckplatte flach, blasenfrei aufgeklebt?
- Ist die Druckplatte **leer** und **staubfrei**?
- Steht der Drucker stabil an einem Ort mit konstanter Raumtemperatur ohne Durchzug und ohne direkte Sonneneinstrahlung?
- Rollt** sich das **Filament** leicht ab?
- Ist die **Drucktemperatur** für das entsprechende Filament eingestellt?
 - Ist die Temperatur zu hoch, zieht das Filament Fäden und eventuell sind Details unscharf.
 - Ist die Temperatur zu niedrig, haftet das Filament nicht richtig oder der Filamentfluss ist nicht konstant.
- Die Farbe und der Hersteller des Filaments, so wie die Raumtemperatur, beeinflussen die Drucktemperatur.

Sketchup

► sketchup.com

Features:

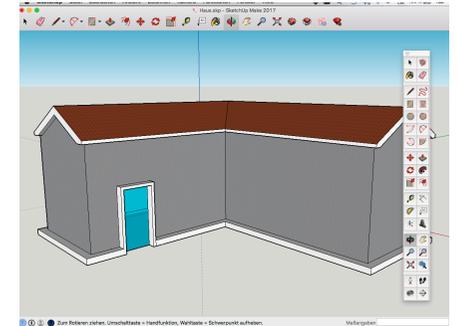
- Einfache Bedienung und einfacher Einstieg
- Großes Tutorial
- Zahlreiche Designvorlagen als Download

Stärken:

- Optimal für Architektur-Projekte.
- Gratis Lizenz für Nicht-Kommerzielle Projekte
- Große Community
- Auch große Projekte sind realisierbar

Schwächen:

- Bedingt geeignet für die Modellierung kleinere Objekte oder einfachere Bauformen.



OpenSCAD

► openscad.org

Features:

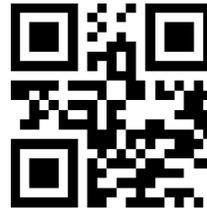
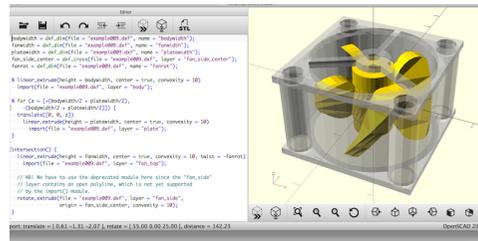
- Download & Online Option
- Code basiert

Stärken:

- Opensource
- Gratis
- Linux, Mac & Windows Version
- Parametrisches Arbeiten
- Gut zum Lernen des CAD-Konzepts
- Große Community

Schwächen:

- Eigene Programmiersprache, die sich gängigen CAD-Sprachen unterscheidet.



Autodesk 360 Fusion

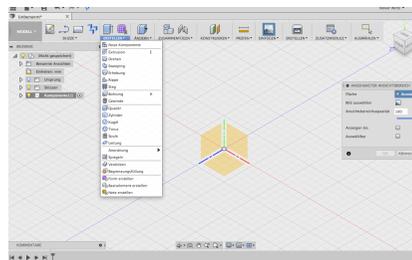
► autodesk.de/products/fusion-360

Features:

- Download (iPad Option)
- Solid Modelling

Stärken:

- Fortgeschrittene CAD Features
- Gratis Studentenlizenz für 3 Jahre
- Sehr umfangreiche Funktionen
- Einbindung in weitere Autodesk Anwendungen



☑ Der Drucker darf während des Drucks nicht bewegt werden.

☑ Der Druck sollte nach Möglichkeit nicht unterbrochen werden, da sich sonst Kanten bilden können.

4.3 Weitere Tipps

☑ Objekte sollten zwischen 5% und 30% gefüllt sein (Infill). Wird zu wenig Füllung verwendet, kann das Objekt instabil werden. Wird zu viel Füllung verwendet, dauert der Druck sehr lange und die Oberfläche des Objekts wird uneben.

5% Füllung sind ein guter Wert, der Material und Zeit spart.

Mehr als 30% Füllung hilft der Stabilität nicht, erhöht aber den Materialverbrauch immens.

☑ Misslingen Überhängen, kann es helfen die Drucktemperatur anzupassen.

Eventuell kann es auch helfen durch zusätzliche Ventilation des integrierten Lüfters die Abkühlzeit zu verringern.

☑ Zieht der Drucker das Filament nicht ein, sollte mit einem scharfen Seitenschneider ca. 1 cm Filament abgeschnitten werden.

☑ Das Filament sollte immer trocken in den vorgesehenen Behältern mit Trockengranulat gelagert werden, da es Wasser zieht.

Quillt das Filament auf, so ist nicht mehr eine konstante Filamentzufuhr gewährleistet und das Druckbild verschlechtert sich.

Im Extremfall kann sogar der Druckkopf verstopfen .

5. Datenbanken für Vorlagen

Thingiverse

Thingiverse ist die wohl bekannteste und größte Datenbank. Die Datenbank wird von der 3D-Druck Community mit Vorlagen und Druckanleitungen bestückt. Alle Vorlagen sind kostenlos downloadbar. Die Qualität der Vorlagen variiert zum Teil, da keine redaktionelle Auswahl getroffen wird. Ein Hinweis auf die Qualität der Vorlage liefern die Kommentare der Community.

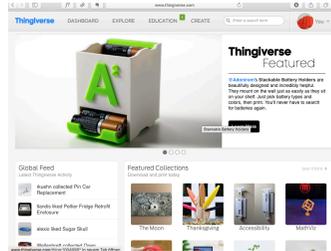
Thingiverse ist in Besitz vom Druckerhersteller Makerbot. Die Vorlagen sind jedoch auch mit anderen Druckern nutzbar.

Die Datenbank besitzt einen *Education Bereich* mit Stundenplanungen, Arbeitsblättern, Forum, zahlreiche Tutorials und Schülerwettbewerben.

Hier finden auch Fortbildungen durch Webinare statt.

Zur Benutzung dieser Datenbank ist keine Anmeldung erforderlich.

► Link: www.thingiverse.com



6.1.2 Software für Fortgeschrittene

Die weitere Software wird nur kurz dargestellt, da sie sich eher an fortgeschrittene Benutzer richtet.

Pixologic Sculptiris

► pixologic.com/sculptiris

Features:

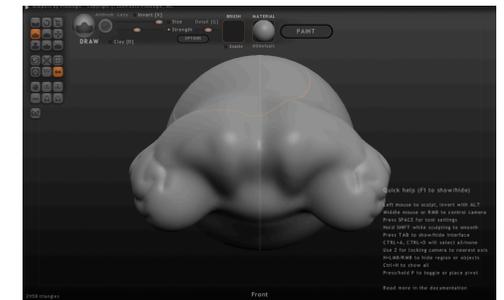
- Download
- Digital sculpting

Stärken:

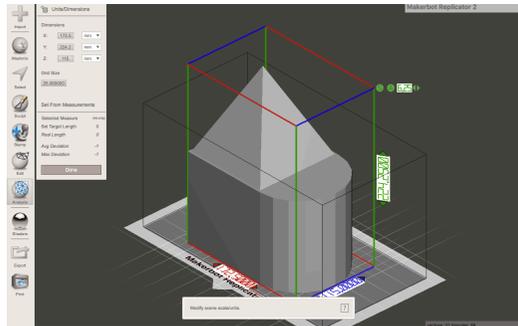
- Einfacher Einstieg
- Einfache Oberfläche
- Künstlerischer Ansatz
- Organische Figuren

Schwächen:

- Hohe Systemanforderungen
- Nicht für funktionale Teile (keine Dimensionen)
- Zusatzhardware sinnvoll: Zeichentabletoptimiert



Autodesk Meshmixer



Meshmixer ist ein Standardwerkzeug zur Reparatur defekter 3D-Files. In die Software lassen sich .obj- und .stl-Dateien importieren.

Mit diversen Werkzeugen lassen sich im Handumdrehen defekte Teile (z.B. umgedrehte Normale) reparieren. Außerdem ist es möglich, mit der Software zu große Überhänge, die Anzahl der Polygone (Auflösung), die Oberfläche etc. zu reparieren. Des Weiteren ist es möglich mehrere Dateien miteinander zu verschmelzen oder aber auch umgekehrt lassen sich Objekte teilen.

Es ist sinnvoll, aber nicht notwendig, Dateien vor dem Druck in Meshmixer auf Fehler, Stabilität und Abmessungen zu überprüfen. Gerade Vorlagen aus den großen Datenbanken weisen häufig Fehler auf, die mit Meshmixer meist leicht zu reparieren sind.

Auch wenn die Software recht intuitiv zu bedienen ist, ist der Umfang doch so groß, dass es hilfreich ist, sich zuerst mit Hilfe eines Video-Tutorials durch die Software führen zu lassen. Autodesk bietet ein umfangreiches Manual an, dass jedoch wie die Software nur in Englisch verfügbar ist: mmanual.com

In der Software selbst sind einige Objekte zum Testen hinterlegt. Es ist zu empfehlen, mit der Vorlage des Hasen die Funktionen der Software zu untersuchen, da er aus zahlreichen Polygonen besteht und seine Ohren große Überhänge aufweisen.

Features:

- ▶ Repariert defekte Dateien
- ▶ erhältlich für Windows, Mac & Linux
- ▶ zahlreiche Analyse Tools



Stärken:

- ▶ Leichter Einstieg
- ▶ Für Anfänger bis Profi geeignet
- ▶ Viele Tutorials im Netz
- ▶ Große Community
- ▶ Gute Einbindung in andere Autodesk Software
- ▶ gratis

Schwächen:

- ▶ Nur auf Englisch erhältlich
- ▶ Kein Konstruktionsstool



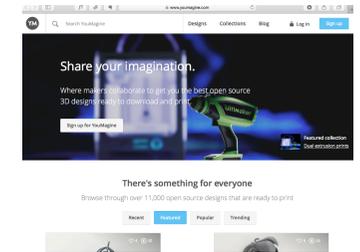
▶ www.meshmixer.com

YouImagine

YouImagine ist das Pendant zu Thingiverse des niederländischen Druckerherstellers Ultimaker. Auch hier finden sich zahlreiche Vorlagen zum kostenlosen Download. Das Angebot ist jedoch nicht ganz so umfangreich wie auf Thingiverse.

Zur Benutzung dieser Datenbank ist ebenfalls keine Anmeldung erforderlich.

▶ Link: www.youmagine.com



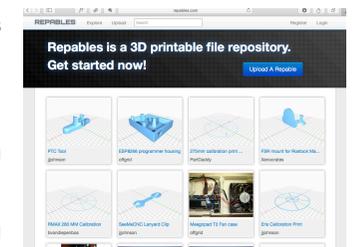
Reposables

Reposables ist eine Datenbank die vollkommen kostenlos und unabhängig von 3D Druckerherstellern ist.

Diesen Datenbank verfolgt den OpenSource Gedanken. So hat jeder die Möglichkeit Dateien unter einer freien Lizenz zur Verfügung zu stellen und herunter zu laden. Auch hier ist für den Download keine Registrierung notwendig.

Die Auswahl ist aktuell noch etwas bescheiden. Eine klare Ausrichtung auf ein Fachgebiet lässt sich zwar grundsätzlich nicht ausmachen, es sind jedoch zahlreiche technische Bauteile für die Bastler- und Maker-Community zu finden.

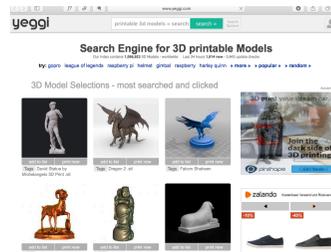
▶ Link: www.repables.com



yeggi

yeggi ist keine Datenbank, sondern eine Suchmaschine für 3D-Druck-Vorlagen. Die Suchmaschine ist auf Deutsch verfügbar, jedoch empfiehlt es sich die Englische Suche zu nutzen, da hier die Ergebnisse deutlich besser ausfallen.

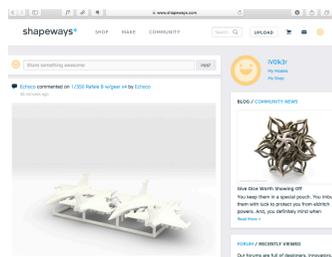
► Link: www.yeggi.com



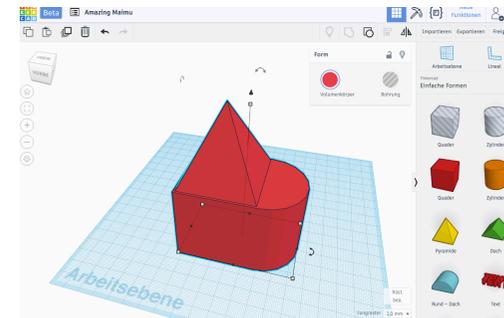
shapeways

Shapeways ist eine kommerziell ausgerichtete Datenbank. Die Datenbank ist ein Verkaufsportal für Designer. Viele Vorlagen sind nicht nur urheberrechtlich geschützt, sondern auch hochpreisig. Die Webseite ist sehr übersichtlich und ansprechend gestaltet.

► Link: www.shapeways.com



Autodesk TinkerCad



TinkerCad ist hervorragend für den Einstieg in die virtuelle Welt der dreidimensionalen Modellierung geeignet. Durch einführende Videotutorials lässt sich die Verwendung des Programms leicht erlernen. Da das Programm von Autodesk, dem populärsten CAD-Softwarehersteller, stammt, sind viele Prozesse, Gesten, Tastaturkürzel etc. später leicht auf professionelle Anwendungen der Autodesk-Familie übertragbar. Die Autodesk-Produktpalette ist mit mehr als drei Millionen verkauften Lizenzen weltweit die meistgenutzte CAD-Software.

Für die Verwendung von TinkerCad ist keine Installation und kein schneller Rechner erforderlich, da die Software in der Cloud läuft. Es ist jedoch eine schnelle und stabile Internetverbindung zwingend notwendig. Die Software läuft auf allen internetfähigen Betriebssystemen und Browsern mit HTML5.

Die große Community von TinkerCad hilft bei Problemen und stellt zudem kostenlos nützliche Elemente, wie z.B. Zahnräder, Spindeln etc. zur Verfügung. Außerdem ist die Plattform Thingiverse fest in TinkerCad integriert, was eine einfachen Upload und Druck mit einem MakerBot ermöglicht.

Die Software ist eine reine Solid Modeling Software und lässt sich nicht in einen Sculpting Modus umstellen, weshalb nicht alle Körper (einfach) in der Software zu modellieren sind.

Features:

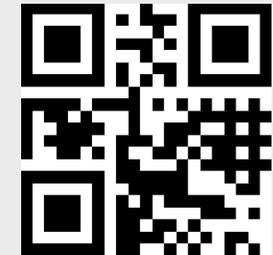
- Browserbasiert
- Drag & drop von solid shapes (Bauklötzchen-Prinzip)

Stärken:

- Leichter Einstieg
- Kinderfreundlich
- Tutorials
- Keine Installation
- Große Community
- Direkter Export zu Thingiverse

Schwächen:

- Design Limits
- Man benötigt eine stabile und schnelle Internetverbindung
- Man benötigt einen Account bei TinkerCad, bzw. Autodesk.



► www.tinkercad.com

6.1.1 Übersicht gratis Software (Mac & PC)

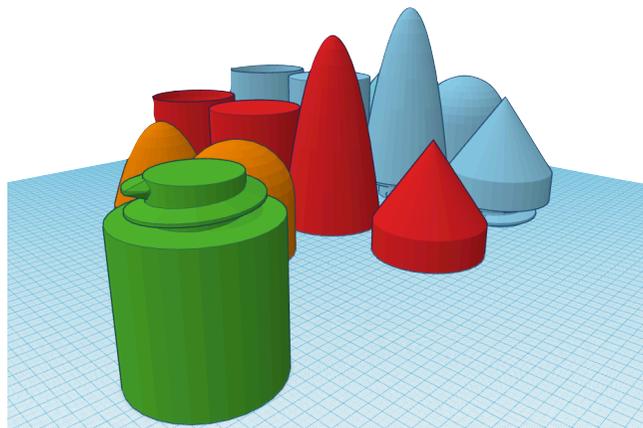
Solid Modeling	Polygon Modeling	Digital Sculpting
Autodesk TinkerCad	Sketchup <i>(auch Solid Modeling)</i>	Sculptris
Autodesk Fusion 360	Blender <i>(wird hier nicht vorgestellt)</i>	Mudbox <i>(wird hier nicht vorgestellt)</i>
	Cinema4D <i>(wird hier nicht vorgestellt)</i>	Z-Brush <i>(wird hier nicht vorgestellt)</i>

Ich empfehle für **Einsteiger** die Verwendung von **TinkerCad**.

Als Rechner empfehle ich einen **leistungsstarken Rechner** mit Windows oder Mac OS.

Der Rechner sollte neben einem **großen Arbeitsspeicher**, auch eine **dezierte Grafikkarte** besitzen. Für die Bedienung empfehle ich eine echte **Dreitastenmaus** mit klassischem Scrollrad und eine Tastatur. Häufig dient die dritte Taste der Navigation. Hilfreich ist ein großer Bildschirm und eine schnelle CPU mit mehreren Kernen.

Trackpads sind für die Bedienung eher ungeeignet.



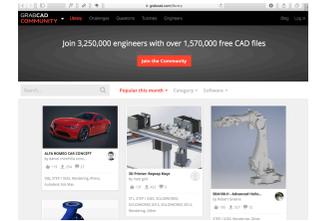
GrabCad

GrabCad ist keine klassische Datenbank. GrabCad zielt vor allem auf Techniker ab, die die Zusammenarbeit verbessern und Produkte schneller entwickeln wollen. Dabei bietet GrabCad mit der GrabCad Workbench ein Tool zur Collaboration an. Diese sehr professionelle Datenbank richtet sich also vorwiegend an Ingenieure und Design-Profis.

Die hier zusammengestellten Vorlagen und Arbeitsgrundlagen sind beeindruckend und zeigen die Möglichkeiten für die Industrie und den professionellen Bereich wunderbar auf. Aktuell umfasst die Datenbank ca. 1,6 Millionen kostenlose 3D-Dateien.

Eine Registrierung ist zur Nutzung der Datenbank nicht notwendig.

► Link: www.grabcad.com



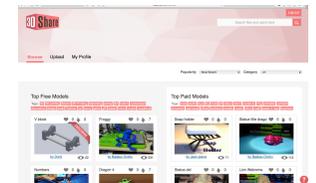
3DShare

3DShare ist eine riesige, englischsprachige Datenbank. Medial bekannt geworden ist sie durch die Veröffentlichung einer druckbaren Handfeuerwaffe. Die Datenbank wird redaktionell nicht überarbeitet.

Auf dieser Plattform finden sich kostenlose und kostenpflichtige Downloads.

Eine Registrierung ist nicht notwendig.

► Link: www.3dsha.re



6. Software

6.1 Software zur Gestaltung

Der Softwaremarkt im Bereich der 3D-Gestaltung ist sehr vielfältig. An dieser Stelle sollen exemplarisch nur drei Programme kurz vorgestellt werden.

Es ist empfehlenswert einen leistungsstarken Rechner mit einer Dreitastenmaus zu verwenden. Der Rechner sollte insbesondere über großen Arbeitsspeicher und eine schnelle Grafikkarte verfügen.

Bei der virtuellen 3D Modellierung muss man zwischen drei verschiedenen Verfahren unterscheiden: Solid Modeling, Polygon Modeling und Digital Sculpting (s.o.).

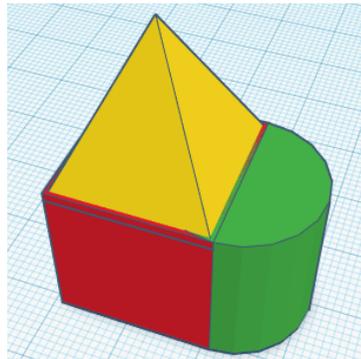
Solid Modeling

Man nennt dieses Verfahren auch *Constructive Solid Geometry (CSG)*.

Hier werden dreidimensionale Festkörper mit mathematischen Methoden beschrieben. Man setzt also einen komplexen Körper aus mehreren einfachen Körpern zusammen. Das Prinzip ist besonders intuitiv, da es dem Bauen mit Bauklötzen ähnelt.

Es ist also insbesondere für Einsteiger leicht und schnell zu erlernen.

Laut einer Untersuchung lassen sich mit dieser Methode 90% aller klassischen Maschinenbauteile konstruieren⁵.



TinkerCAD

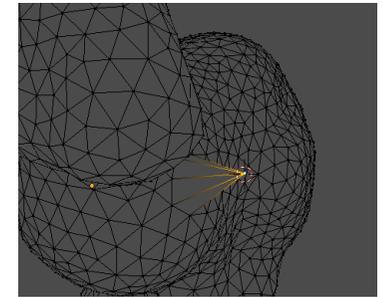
⁵ M. M. Samuel u. a.: *Methodology and Results of an Industrial Parts Survey*. In: *Technical Memorandum 21*, Production Automation Project, University of Rochester, New York 1976. Zitiert in Max Agoston: *Computer Graphics and Geometric Modeling: Implementation and Algorithms*, S. 169

Polygon Modeling

Ein Polygon (*Griechisch: Vieleck*) ist ein zweidimensionales Dreieck. Dieses Dreieck spannt eine Fläche auf. Durch die Kombination von einer Vielzahl von Dreiecken lassen sich die komplexesten Gegenstände darstellen.

Man kann sich diese Darstellungsform als ein Drahtgitternetz vorstellen. Die Größe der einzelnen Polygone beeinflussen die Auflösung des Körpers, aber auch die Dateigröße. Bei den meisten Modellierungsprogrammen lassen sich die Ecken der Dreiecke durch ziehen modellieren.

Faustregel: Gerade Flächen bestehen aus wenigen Polygonen (meist zwei), runde Flächen aus vielen Polygonen.



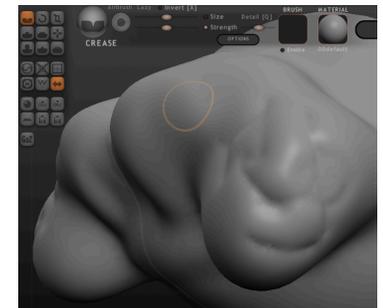
Blender

Digital Morphing & Sculpting

Bei diesem Verfahren lassen sich Körper wie mit virtuellem Ton frei modellieren.

Der Kreativität sind so keinerlei Grenzen gesetzt. Der Schaffungsprozess hat einen stark künstlerischen Bezug und weniger zum Maschinenbau.

Oberflächen lassen sich vollkommen frei von mathematischen Formen modellieren, so dass auch natürliche Formen nachgebildet werden können.



Sculpturis