

Lernkarten-Set

Jan Borchers, Anke Brocker, Marcel Lahaye

3D-Druck

Impressum

Die Informationen in diesem Lernkarten-Set wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag und Autoren übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene Fehler und deren Folgen.

Alle Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt und sind möglicherweise eingetragene Warenzeichen. Der Verlag richtet sich im wesentlichen nach den Schreibweisen der Hersteller. Das Werk steht unter der CC-BY-NC 3.0—Lizenz.

Kommentare und Fragen können Sie gerne an uns richten:

Bombini Verlags GmbH

Kaiserstraße 235

53113 Bonn

www.bombini-verlag.de

E-Mail: service@bombini-verlag.de

Copyright: © 2020 by Bombini Verlag

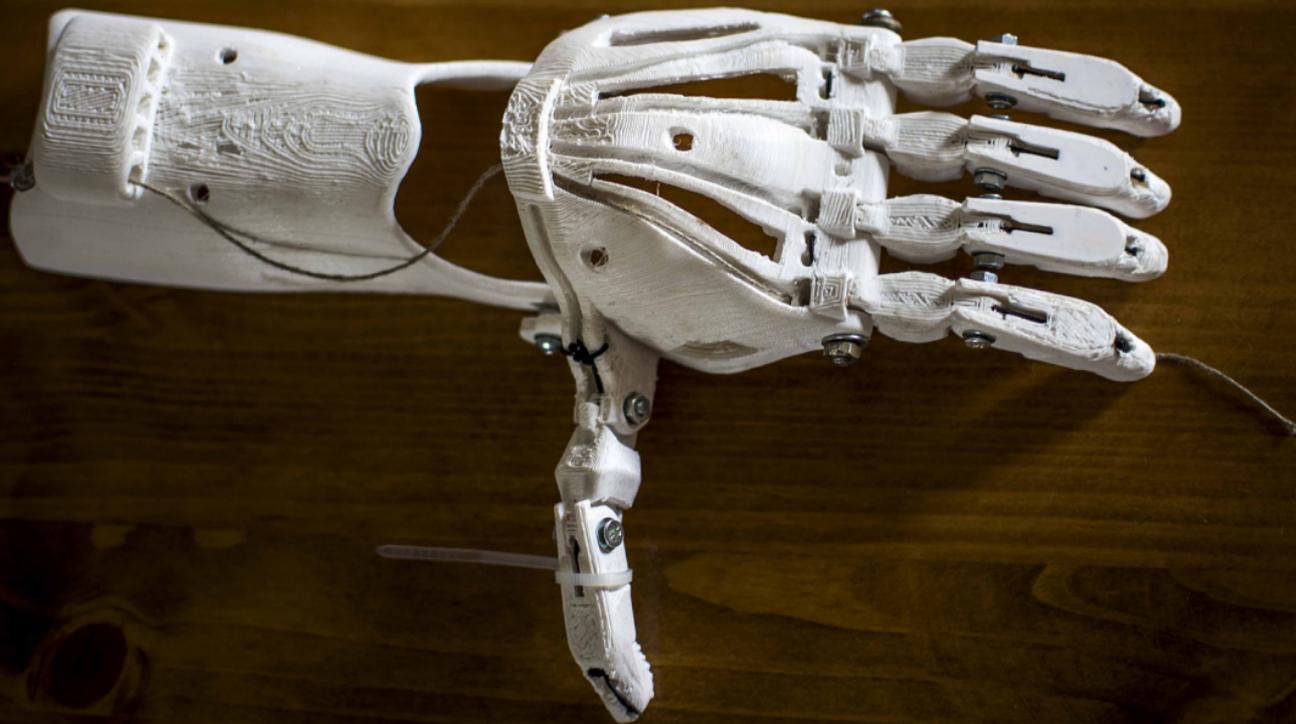
Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-946496-18-2

Die Lernkarten-Sets wurden gedruckt mit freundlicher Unterstützung der RWTH Aachen und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in dem Förderprogramm Photonik Forschung Deutschland, Förderkennzeichen: 13N14065.

Inhalt



Inhalt

3D-Druck

Warum 3D-Druck?

Wie funktioniert ein 3D-Drucker?

Infill und Supportstrukturen

Andere 3D-Fertigungsverfahren

3D-Druck & Software

3D-Scanning

Details zur Slicer-Software

Welche Materialien gibt es?

Stützmaterial

Dual-Druck

Platzierung des Drucks

Der Druckprozess

Sicherheit

Nachbearbeitung

Troubleshooting

3D-Druckbeispiele

Fab Labs und Dienstleister

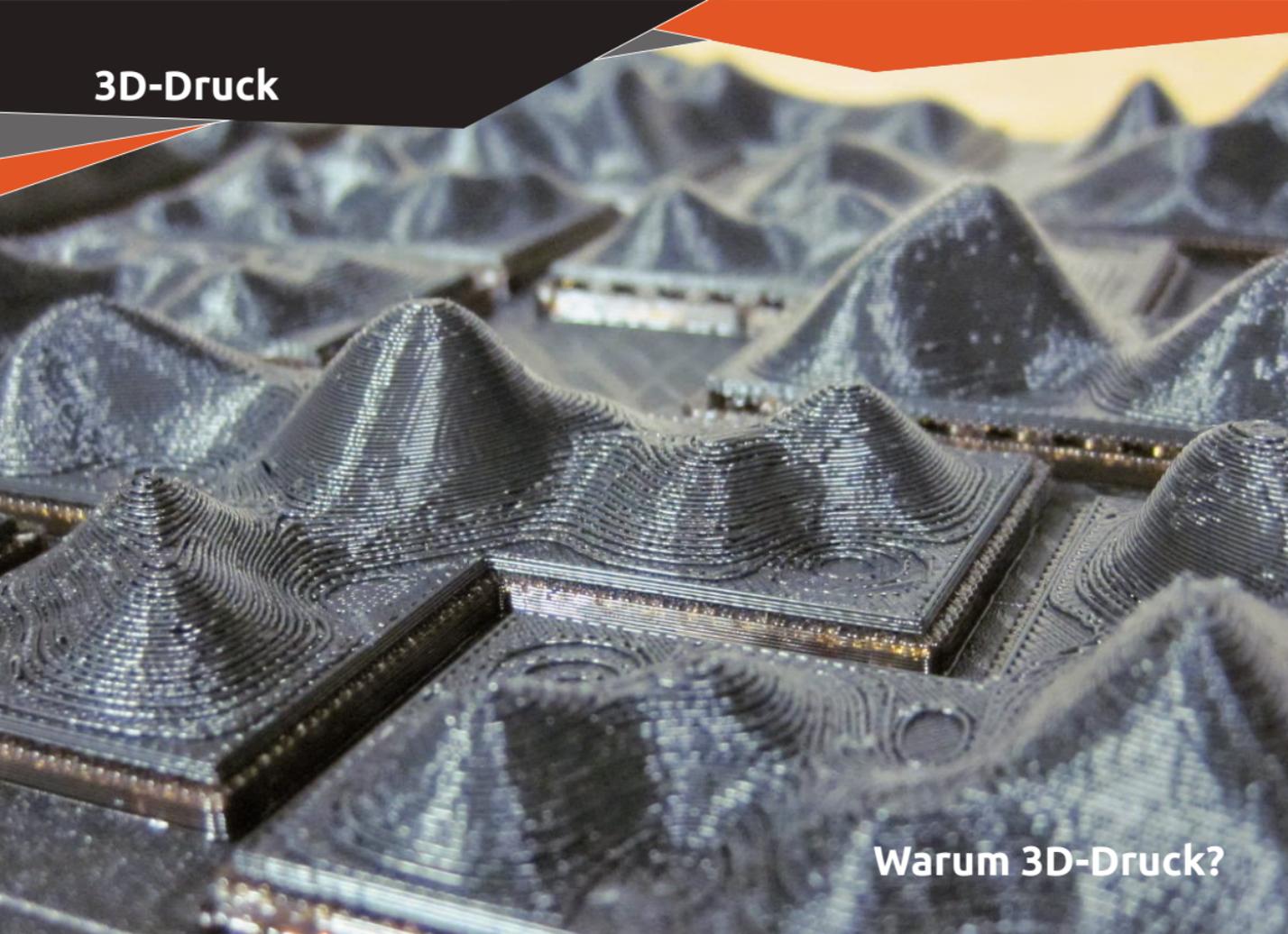
In der Zukunft

Fab Lab Aachen

Lernkontrolle

Über die Autoren

3D-Druck



Warum 3D-Druck?

3D-Druck

In den letzten zehn Jahren ist 3D-Druck vom Nischenthema zum globalen Phänomen avanciert. Was macht ihn so attraktiv?

Ein 3D-Drucker verwandelt ein Modell im Computer auf Knopfdruck in einen anfassbaren Gegenstand — fast wie der Star Trek **Replicator**. Dabei ist er wesentlich **sauberer** und **einfacher** zu benutzen als zum Beispiel eine Fräse.

3D-Druck ist **schnell**: Für eine drei cm große Plastikschildkröte braucht ein Einsteigerdrucker zehn Minuten, für die meisten Drucke nur wenige Stunden. Das ist ideal für **Rapid Prototyping**: In ein bis zwei Tagen können Sie Ihr Design mehrmals drucken, testen und bei Bedarf verbessern.

Die **Materialkosten** liegen meist bei wenigen Euro, da der Drucker — anders als eine Fräse — nur das Material für das endgültige Objekt und etwas Stützmaterial verbraucht.

Individualisierung kostet fast nichts, denn hundert gleiche Objekte drucken genauso

lange wie hundert individuell angepasste. Klassischer Spritzguss braucht da jedes Mal eine teure neue Form. Auch feine, **komplizierte Strukturen** drucken kaum länger.

Schließlich können 3D-Drucker in einem Schritt ineinander **verschachtelte Objekte** wie eine Trillerpfeife mit Kugel darin drucken, die man sonst einzeln drucken und anschließend montieren müsste.

Der 3D-Drucker ist das bekannteste Werkzeug der **digitalen Fabrikation**. Auch Lasercutter, CNC-Fräsen und Schneidplotter gehören dazu. Sie alle sind dank Digitalisierung **schneller, präziser** und **günstiger** als klassische Werkzeuge und analoge Maschinen. Deshalb gilt die digitale Fabrikation nach Computer und Internet als **dritte industrielle Revolution**, die das Potenzial der **Informatik** diesmal für die Herstellung realer Gegenstände nutzt.

Warum 3D-Druck?

3D-Druck



Wie funktioniert ein 3D-Drucker?

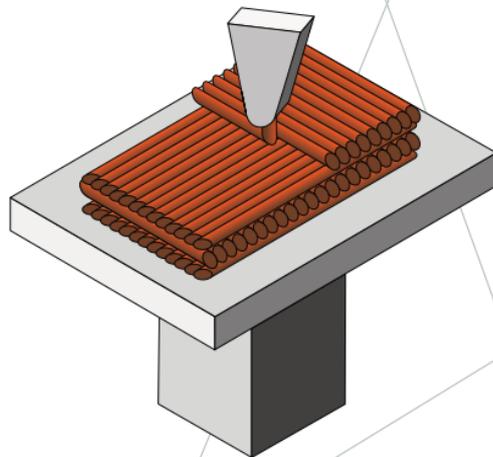
3D-Druck

Es gibt Dutzende verschiedener Verfahren im 3D-Druck. Die meisten Drucker für Privatanwender arbeiten heute nach dem Prinzip des **Fused Deposition Modeling (FDM)**, das an eine Heißklebepistole erinnert:

Das Druckmaterial, meistens ein Kunststoff, wird als ein dünner Strang (**Filament**) von einer Vorratsrolle langsam abgerollt und oben in einen Druckkopf (**Extruder**) gezogen, dort durch Erhitzen fortlaufend geschmolzen und unten durch eine feine Düse auf eine Platte gepresst. Der Druckkopf mit der Düse fährt dabei hin und her und legt so dünne Kunststoffäden nebeneinander. Ist eine Schicht fertig, wird die Platte um einen Millimeterbruchteil abgesenkt und die nächste Schicht aus Kunststoffäden auf die erste gedruckt.

So entsteht Schicht für Schicht durch das Hinzufügen von Material ein 3D-Objekt. Deshalb wird 3D-Druck auch als **additive Fertigung** bezeichnet. Verfahren wie das Fräsen

oder Lasercutting hingegen entfernen Material und werden deshalb **subtraktive Fertigung** genannt.



Wie funktioniert ein 3D-Drucker?

3D-Druck



Stützstrukturen an einem gedruckten Bauteil aus einem „Stratasys Dimension Elite“-FDM-Drucker, der ein zweites, lösliches Material (schwarz) für den Support verwendet. Es wird anschließend in einer Seifenlauge ausgewaschen.

Infill und Supportstrukturen

3D-Druck

Das Innere solider Objekte füllen FDM-Drucker gerne nur teilweise. Das spart Material, Gewicht und vor allem Druckzeit und ist am Ende von außen nicht zu erkennen. Flugzeugbauer zum Beispiel nutzen dies sogar extra zur Gewichtsersparnis, da es die mechanische Stabilität des Objekts kaum beeinträchtigt. Auch unsere Knochen sehen innen übrigens so ähnlich aus. Die Druckersoftware nennt dies **Infill**; 20% sind ein üblicher Wert.

Umgekehrt bekommt der FDM-Drucker allerdings ein Problem, wenn er zum Beispiel eine hohle Kiste mit Deckel drucken soll: Worauf soll er die Kunststoffäden ablegen, die den Deckel bilden? Dort ist kein Material, nur ein Hohlraum. Dieses Problem entsteht immer dann, wenn starke **Überhänge** in einem Modell zu drucken sind. In diesem Fall fügt die Druckersoftware meist automatisch **Stützstrukturen (Support)** hinzu, auf denen das eigentliche Material dann abgelegt wird und die Sie nach dem Druck entfernen.

Einfache FDM-Drucker können nur ein Material zur Zeit drucken. Dann sind die Stützstrukturen aus demselben Material wie das Objekt, und Sie müssen die Stützstrukturen anschließend manuell **herausbrechen**. Teurere FDM-Drucker haben zwei Druckköpfe und können so ein anderes Material für die Stützstrukturen verwenden, das zum Beispiel wasserlöslich ist und Sie anschließend einfach **auswaschen**. Viele 3D-Modelle im Internet sind aber bereits daraufhin optimiert, dass sie keine Stützstrukturen benötigen.



Gitterartige Infill-Strukturen unterschiedlicher Dichte im Inneren eines Objekts

Infill und Supportstrukturen

3D-Druck



Ein Stereolithographiedrucker der Firma FormLabs

Quelle: Creative Tools / CC BY 2.0 (Bild verändert)

(<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)

Andere 3D-Fertigungsverfahren

3D-Druck

Neben dem FDM-Druck existieren Dutzende weiterer Verfahren. Hier die Wichtigsten:

In der **Stereolithografie (STL)** wird die Bauplattform in ein Becken abgesenkt, das mit einem lichtempfindlichen, flüssigen Kunststoff (meist einem Epoxidharz) gefüllt ist. Ein Laser verhärtet den Kunststoff von unten an der Plattform punktuell. Die Plattform wird für jede neue Schicht etwas angehoben und zieht so langsam das fertige Objekt aus der Flüssigkeit. STL-Dateien erhielten hier ihren Namen. **DLP-Druck** nutzt statt des Lasers eine digital gesteuerte Flüssigkristall-Maske zur Belichtung ähnlich wie ein DLP-Projektor.

Beim **Selektiven Lasersintern (SLS)** wird im Druckraum eine dünne Schicht Metall- oder Kunststoffpulver auf die Bauplatte aufgetragen. Ein Laser verschmilzt das Pulver punktuell; anschließend wird die nächste Schicht Pulver über den gesamten Bauraum gezogen. Unverschmolzenes Pulver dient gleichzeitig als Stützstruktur für den Druck und ist danach wiederverwendbar.

Inkjet-Verfahren: Hier wird wie bei einem Tintenstrahldrucker entweder das Bau- und Stützmaterial auf die Bauplattform gesprüht (**Material Jetting**) und UV-gehärtet oder wie beim Selektiven Lasersintern ein flüssiger Kleber punktuell auf das Pulvermaterial gesprüht (**Binder Jetting**).

Laminated Object Manufacturing (LOM) baut das Modell aus dünnen Schichten von Material wie beispielsweise Papier auf. Dabei werden die Materialschichten aufeinander geklebt, und auf jeder Schicht wird mit einem Messer oder einem Laser die Kontur des Objekts ausgeschnitten.

Im Lebensmittel-, aber auch Baubereich schließlich werden zähflüssige **Pasten** (von Schokoglasur über Teig bis zu Beton) aus einer Spritze wie beim FDM-Druck extrudiert und härten anschließend aus.

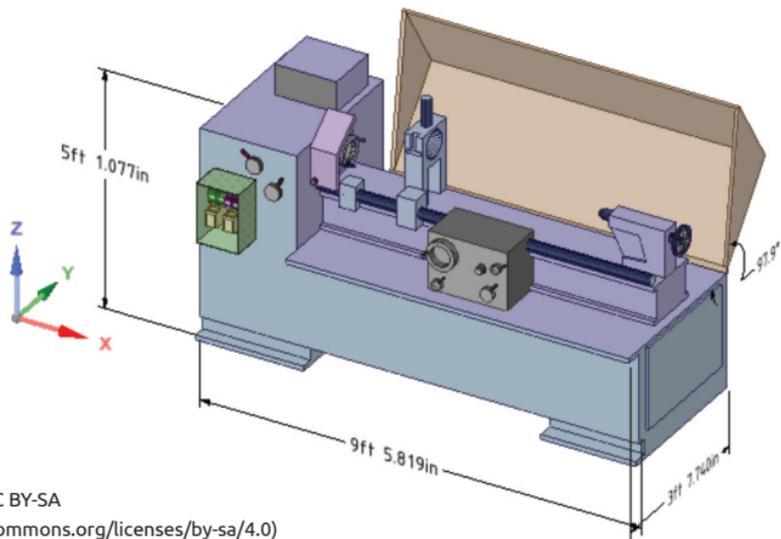
Wir sprechen im Weiteren über **FDM-Druck**, das am weitesten verbreitete Verfahren im Einsteigerbereich.

Andere 3D-Fertigungsverfahren

3D-Druck



-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.



Quelle: Rds10 / CC BY-SA
(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)

Software (1)

3D-Druck

Für den 3D-Druck benötigen Sie zwei Arten von Software: eine, um ein digitales 3D-Modell zu bekommen, und eine zum Ansteuern des Druckers.

An ein 3D-Modell können Sie auf viele unterschiedliche Arten und Weisen kommen. Das einfachste ist, sich ein fertiges 3D-Modell von kostenlosen Plattformen wie beispielsweise **thingiverse.com** herunterzuladen.

Manche Modelle hier sind **parametrisiert**, und Sie können sie hier bereits einfach an eigene Bedürfnisse anpassen, ohne eine 3D-Designsoftware erlernen zu müssen. Bei Thingiverse heißt das **Customizer**: Sie schieben auf der Webseite einen Regler hin und her und wählen so zum Beispiel bei einem 3D-Modell eines Schmuckkrings den gewünschten Innendurchmesser.

Für spezielle Anwendungsbereiche gibt es inzwischen oft eigene **Online-Designtools**, in denen man sich sein Modell, manchmal für ein paar Euro, leicht nach Wunsch konfigurieren

und herunterladen kann. Ein Beispiel für Miniaturfiguren ist **heroforge.com**.

Wollen Sie Ihr 3D-Modell am Computer selbst erstellen, geht das mit einem **CAD-Programm** (Computer-Aided Design). Hier erstellen Sie Ihr Modell meist graphisch, indem Sie einfache Objekte wie Würfel, Zylinder, Kugeln sowie andere Kurven und Flächen miteinander kombinieren. Ein häufig genutztes, kostenloses Open-Source-Programm ist **TinkerCAD**.

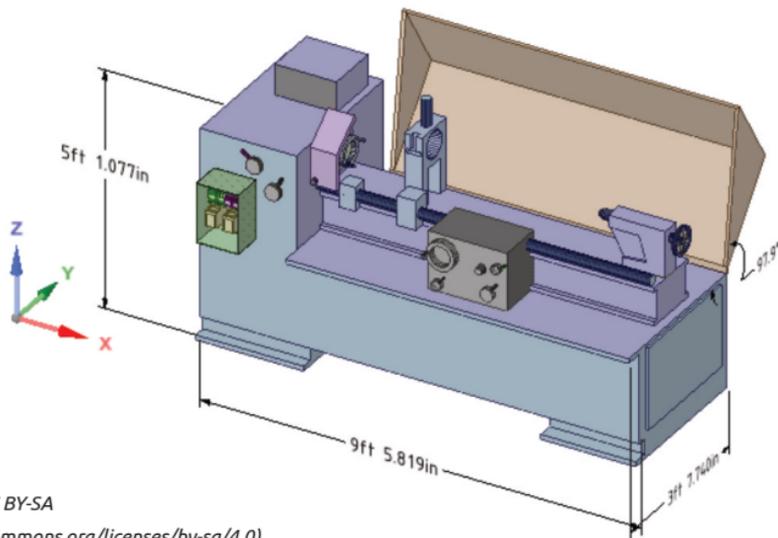
Mehr Möglichkeiten, aber auch eine kompliziertere Bedienung bieten professionelle Programme wie **Fusion360** (kostenlos für nichtkommerzielle Nutzung und Startups).

Blender (kostenlos, Open-Source) ist komplex und eher für freie Gestaltung als für technische Bauteile geeignet.

3D-Druck



-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.



Quelle: Rds10 / CC BY-SA
(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)

Software (2)

3D-Druck

Liegt Ihnen Programmieren mehr als 3D-Design, können Sie mit dem kostenlosen Open-Source-Programm **OpenSCAD** 3D-Modelle auch einfach als Programmcode beschreiben: die Codezeile **sphere(10)**; erzeugt beispielsweise eine Kugel mit 10 mm Radius als 3D-Modell. Gerade für Objekte, die aus ein paar einfachen, geometrischen Formen bestehen, ist OpenSCAD sehr effizient. Seine zweite Stärke ist, dass Sie über Variablen Ihr 3D-Modell **parametrisieren** und damit rasch anpassen können. Ein Fingerring als Schmuckstück mit einstellbarem Durchmesser ist ein Beispiel. OpenSCAD ist deshalb auch die Basis des zuvor erwähnten Thingiverse Customizers.

Auch für Tablets (meistens das iPad Pro) gibt es nützliche Design-Apps wie zum Beispiel **Shapr3D** (kostenlos mit niedriger STL-Auflösung, Vollversion kostenlos für Bildung).

Fertige Modelle exportieren Sie im **STL**- oder **OBJ**-Format für den 3D-Drucker. Speichern Sie für spätere Änderungen Ihr Modell aber auch immer im Dateiformat Ihrer CAD-Software, um zum Beispiel die Historie Ihrer Arbeitsschritte mit zu sichern.

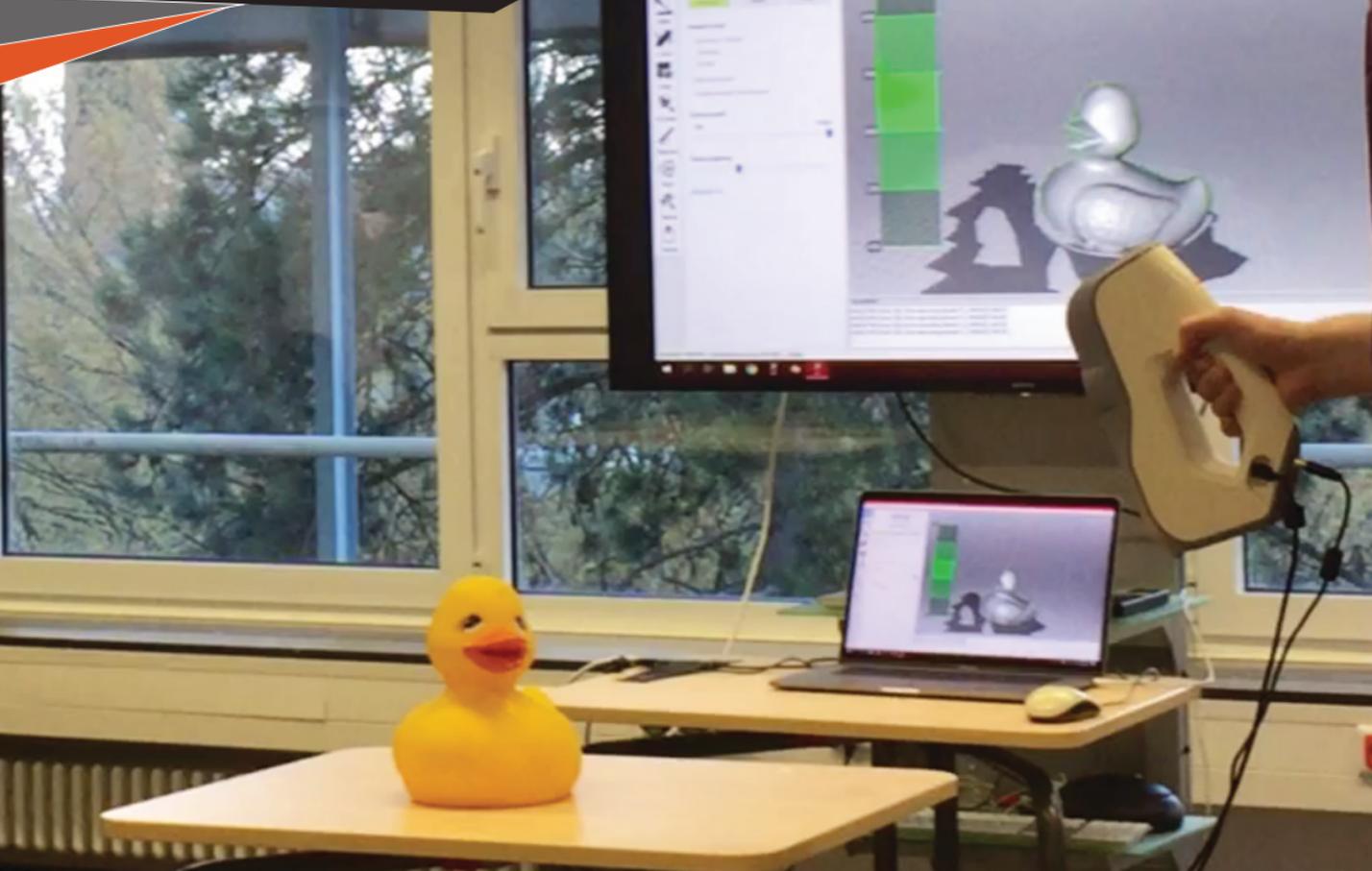
Die zweite Software, die Sie brauchen, ist ein **Slicer**. Er wandelt Ihr 3D-Modell in **G-Code**, lange Reihen von Steuerkommandos für Ihren Drucker um.

Oft kann der Slicer den Druckauftrag über das Netzwerk oder per USB-Kabel direkt zum Drucker schicken. Ansonsten speichern Sie den Druckauftrag als **.gcode**-Datei auf einer SD-Karte oder einem USB-Stick und bringen ihn anschließend zum Drucker.

Zum Slicer finden Sie weitere Tipps und Tricks auf separaten Karten.

Software (2)

3D-Scanning



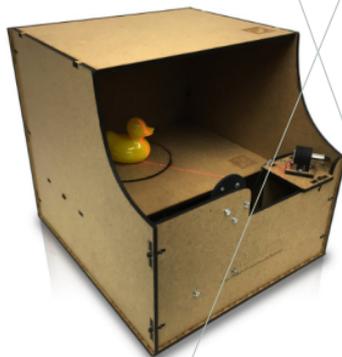
3D-Scanning

Wenn Sie ein vorhandenes Objekt kopieren wollen, können Sie das Objekt auch in 3D einscannen und sich so die Arbeit sparen, es selbst zu modellieren. Allerdings sind 3D-Scans nie so exakt wie ein selbst erstelltes 3D-Modell und deshalb ungeeignet, wenn es auf genaue Abmessungen ankommt.

Ein **3D-Scanner** projiziert ein Gitternetz auf das zu scannende Objekt. Aus der Verzerrung des Gitternetzes auf der Objektoberfläche berechnet die Scannersoftware dann die Form des Objekts. Je mehr Bilder der Scanner machen kann und je mehr Blickwinkel auf das Objekt erfasst werden, um so besser wird das digitale 3D-Modell.

Die Technik hat jedoch ihre Grenzen. Feine Strukturen wie einzelne Haare werden selten erkannt, Hinterschneidungen werden nicht erfasst, und durch durchsichtige Flächen wird das Gitternetz einfach hindurchprojiziert. Meistens müssen Sie das digitale 3D-Modell in der Scannersoftware oder einem anderen

STL-Repairtool **nachbearbeiten**, um „Löcher“ im Modell zu schließen und andere Scanfehler zu korrigieren. Anschließend können Sie Ihr Modell ausdrucken: Sie haben praktisch einen 3D-Kopierer!

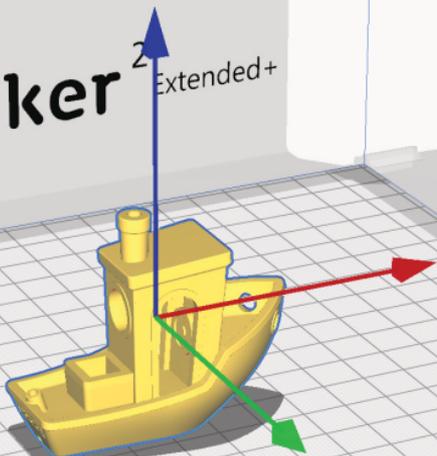


Der FabScan ist ein günstiger DIY-3D-Scanner, der am Institut der Autoren erfunden wurde und inzwischen von Mario Lukas weiterentwickelt wird.

(<https://hci.rwth-aachen.de/fabscan>)

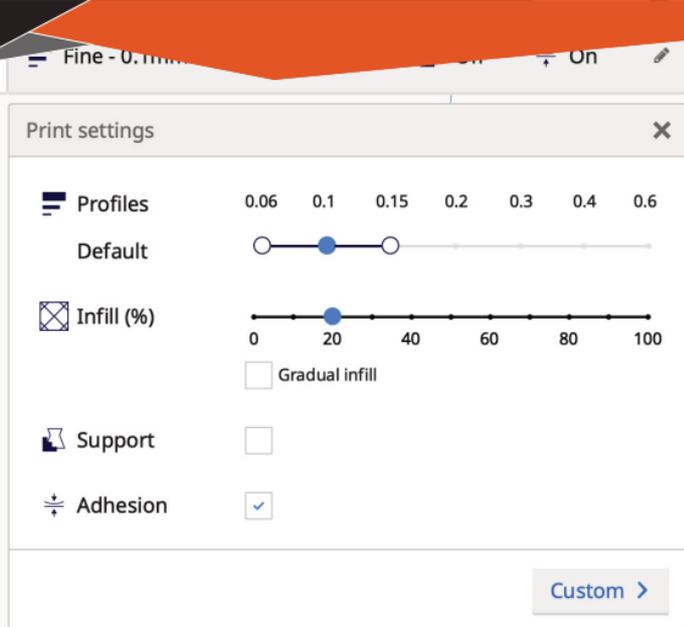
Slicer-Software

Ultimaker 2 Extended+



Software: Ultimaker Cura v4.6.1

3D-Modell: #3DBenchy von 3DBenchy.com.



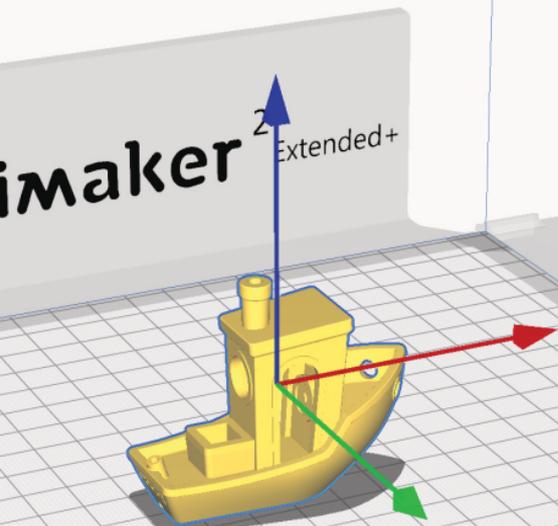
Tipps und Tricks (1)

Slicer-Software

1. Der Slicer muss Ihren Druckertyp kennen, um den richtigen G-Code zu erzeugen. Verwenden Sie deshalb zunächst den Slicer, den Ihr 3D-Drucker-Hersteller empfiehlt. Später können Sie auch andere Slicer ausprobieren, um den Funktionsumfang zu vergleichen. Die häufigste Wahl im Heimbereich ist Ultimakers Open-Source-Software **Cura**. Andere aktuelle Slicer sind KISSlicer (kostenlose und kostenpflichtige Versionen verfügbar), Slic3r (kostenlos), Simplify3D (kostenpflichtig) und ideaMaker (kostenlos).
2. Die voreingestellten **Druckprofile** sind nützlich und ausreichend für die ersten einfachen 3D-Modelle. Möchten Sie den Druckprozess nach ersten Erfahrungen genauer kontrollieren, können Sie eigene Druckprofile mit detaillierten Einstellungen für Ihren Drucker erstellen. Ein Profil für sehr schnelles Drucken in geringer Auflösung ist zum Beispiel nützlich, wenn schnell ein Prototyp her muss, bei dem das Aussehen nicht so wichtig ist.
3. Nutzen Sie die **Vorschaufunktion**: Sie simuliert, wie der Druckkopf das Filament aufträgt. So können Sie einige Fehler schon vor dem Drucken abfangen.
4. Mit der **Auflösung** wählen Sie die Schichtdicke in z-Richtung, in der Filament aufgetragen wird. Dünnere Schichten liefern glattere Oberflächen und lassen feinere Details erkennen, erhöhen aber auch die Druckzeit — bei größeren Modellen schnell um mehrere Stunden.
5. Die **Wandstärke** definiert, wie dick die äußere Hülle des Modells ist. Eine geringe Wandstärke reduziert die Druckzeit, macht das Modell aber instabiler.

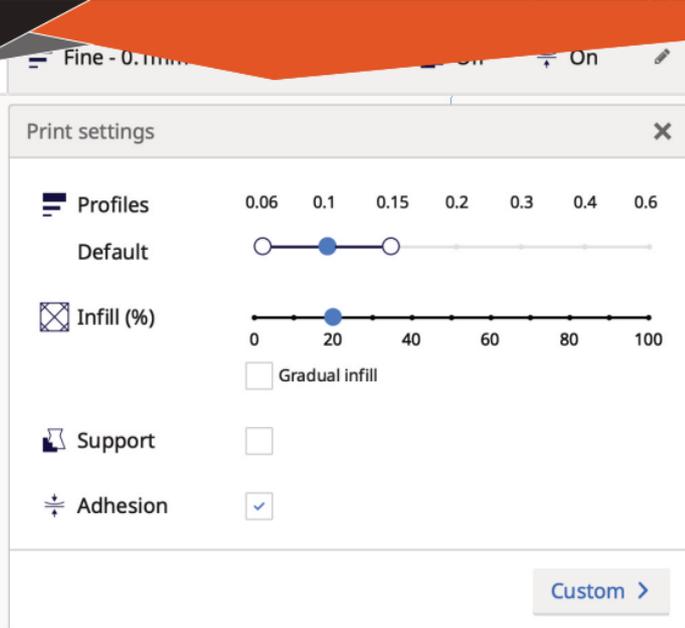
Tipps und Tricks (1)

Slicer-Software



Software: Ultimaker Cura v4.6.1

3D-Modell: #3DBenchy von 3DBenchy.com.



Tipps und Tricks (2)

Slicer-Software

6. Platzieren Sie das Modell in der Slicer-Software so auf der virtuellen Bauplatte, dass möglichst **wenig Überhänge** gedruckt werden müssen — mehr dazu unten. Das sorgt für bessere Druckqualität und spart Zeit und Stützmaterial. Eine Pyramide beispielsweise sollten Sie nicht auf die Spitze gestellt drucken. Nutzen Sie Funktionen zur **automatischen Platzierung**, wenn der Slicer sie anbietet. Die glattesten Oberflächen liefert der FDM-Druck übrigens auf der ebenen Unterseite gedruckter Objekte wegen der glatten Bauplatte. Auf sehr leicht geneigten Oberflächen fallen die Schichtsprünge am meisten auf. Drehen Sie Ihr Modell in solchen Fällen so, dass diese Oberflächen stärker geneigt sind.
7. Aktivieren Sie **Infill** (siehe Lernkarte zum Thema), um Zeit, Material und Gewicht zu sparen, wenn Ihr Objekt später keinen extremen Belastungen ausgesetzt wird. Sie geben an, zu wieviel Prozent der Innenraum gefüllt wird; 20% sind üblich.
8. Verwenden Sie anfangs das vom 3D-Druckerhersteller **empfohlene Filament**. Die Rollen sind etwas teurer, machen aber erfahrungsgemäß die wenigsten Probleme, weil die Einstellungen des Slicers vom Druckerhersteller darauf optimiert wurden. Mit etwas Erfahrung können Sie später Filamente anderer Hersteller testen, um Geld zu sparen oder neue Materialoptionen zu erschließen.
9. Um beispielsweise eine bestimmte Biegsamkeit des Drucks zu erreichen oder bei hohen Stückzahlen die Druckzeit zu optimieren, können Sie aus verschiedenen **Infill-Mustern** wählen und **zahlreiche andere Parameter** anpassen. Sehen Sie hierfür am Besten in die **Dokumentation** Ihres Slicers.

Tipps und Tricks (2)

Materialien



Welche Materialien gibt es?

Materialien

3D-Druckmaterial für FDM-Drucker wird als **Filament**, also als ein dünner Strang auf einer Rolle geliefert. Die Materialvielfalt für 3D-Druck reicht von einfachem Plastik über elastische, fluoreszierende und leitfähige Materialien bis zu Filamenten, die Holzfasern oder Keramikanteile enthalten. FDM-geeignete Materialien fallen in sechs Kategorien:

- Kunststoffe (PLA, ABS, elastische Kunststoffe etc.)
- Holzpasten
- Harze und Wachs
- Pulver
- Keramik, Gips, Glas
- Metalle und Edelmetalle

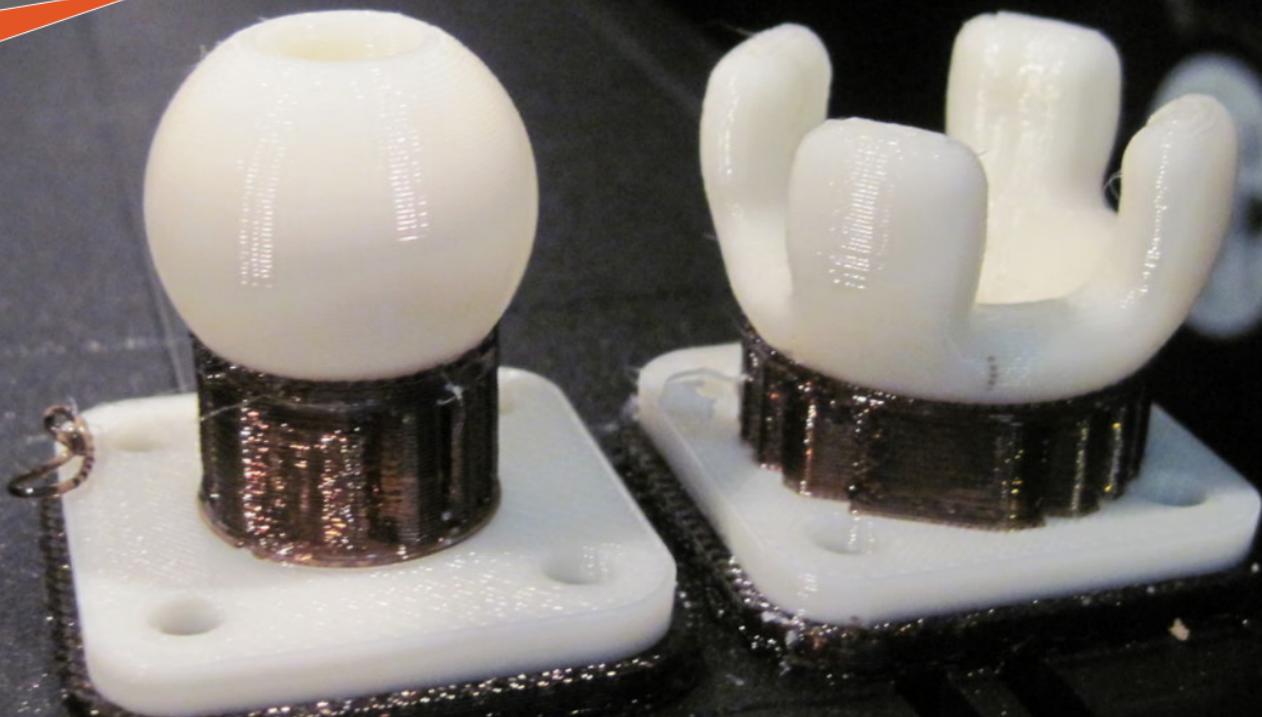
PLA ist heute unter Heimanwendern das meistverwendete Material im FDM-Druck. Dieser Kunststoff wird aus Maisstärke, einem nachwachsenden Rohstoff, gefertigt. Beim Drucken riecht es deshalb etwas nach Popcorn. :) Für die meisten Projekte ist PLA per-

fekt. Wie gewöhnliches Plastik neigt es allerdings dazu, nach einer Weile etwas brüchig zu werden. Stabilere und hitzeunempfindlichere Kunststoffe sind ABS, PETG, TPU oder PC. Das Drucken mit ihnen erfordert allerdings etwas andere Druckereinstellungen im Slicer und am Drucker.

Achten Sie beim Kauf auf den richtigen **Filament-Durchmesser** für den Druckkopf (Extruder) Ihres Druckers. 1,75 mm und 2,85 mm haben sich als Standards etabliert.

Welche Materialien gibt es?

Materialien



Stützmaterial

Materialien



Wenn ein 3D-Modell deutliche Überhänge besitzt, brauchen Sie beim Druck **Stützmaterial (Support Material)**. Die Äste dieses Baums zum Beispiel ragen seitlich über den Baumstamm hinaus. Der 3D-Drucker kann aber diese Äste nicht in der Luft drucken; er hat nichts, worauf er sein Druckmaterial ablegen könnte. Deshalb wird während des Druckvorgangs Stützmaterial unter den Ästen mitgedruckt. Auf diesem Stützmaterial können die Äste problemlos gedruckt werden.

Nicht alle Überhänge benötigen Stützmaterial. Als Daumenregel sind Supportstrukturen für **Überhänge ab 30°** sinnvoll für ein gutes Druckergebnis. Allerdings verlängern Supportstrukturen natürlich die Druckzeit.

Außerdem müssen Sie Stützmaterial nach dem Druck **entfernen**. Wie das geht, hängt vom Drucker und dem Material ab. Einfache Drucker mit einem einzelnen Druckkopf verwenden dasselbe Material für die Supportstrukturen, die Sie nach dem Druck manuell wegbrechen müssen. Drucker mit zwei Druckköpfen nutzen andere Materialien für den Support, die Sie anschließend in Lauge oder sogar normalem Wasser auflösen oder durch Erwärmung wegschmelzen. Dies sind nur ein paar Beispiele. Informieren Sie sich, was für Ihren Drucker und Ihr Material zu tun ist, und planen Sie Zeit für diese Nachbearbeitung ein.

Stützmaterial

Materialien



Dual-Druck

Materialien

Immer mehr 3D-Drucker haben **zwei Druckköpfe**, um gleichzeitig mit zwei Filamenten zu drucken. Dadurch können Sie ein Modell in zwei Farben oder Materialien drucken oder im zweiten Druckkopf Stützmaterial verwenden.

Bei Mehrfarben- oder Mehrmaterialdrucken müssen Sie **zwei 3D-Modelle** erstellen und in der Slicer-Software übereinanderlegen. Dann weisen Sie jedem Druckkopf ein Modell zu. Die Modelle dürfen sich nicht überlappen, sonst würde der Drucker versuchen, zweimal an derselben Stelle zu drucken.

Stützstrukturen erstellt die Slicer-Software meist automatisch, und Sie müssen sie nur einem separaten Druckkopf zuweisen, ohne ein zweites Modell erstellen zu müssen.

Aber auch, wenn Ihr Drucker nur über einen Druckkopf verfügt, können Sie mit mehreren Materialien drucken. Dazu können Sie einen Teil eines Modells in einem Material drucken, dann den Druck pausieren, das Material wechseln und den Druck mit dem neuen Ma-

terial fortsetzen. Auch Farbwechsel sind so möglich. Innerhalb eines Objekts können Sie das Material so aber nur entlang einer horizontalen **Schichtgrenze** wechseln.

Drucker mit zwei Druckköpfen hingegen können die beiden Materialien fast beliebig in einem Objekt mischen. Die Geckos auf dieser Lernkarte sind dafür ein gutes Beispiel.

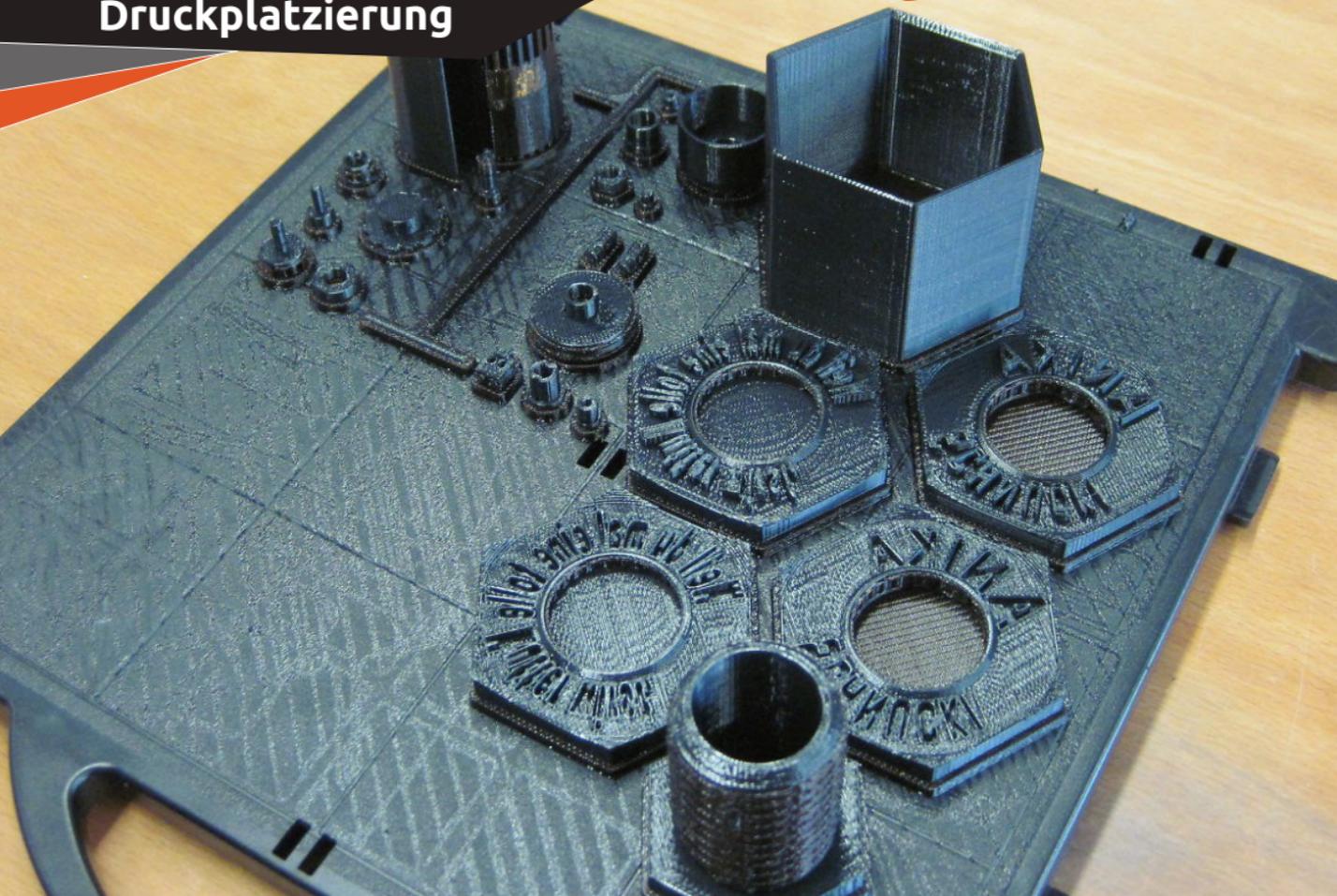
Natürlich können Sie unterschiedliche Teile eines Objekts auch einfach separat nacheinander mit verschiedenen Materialien drucken und anschließend **zusammenkleben**. Mit Cura-Plugins wie dem bei uns entstandenen Autoparter können Sie zu große 3D-Modelle zerlegen.

(<https://hci.rwth-aachen.de/m3-autoparter>)

Für raffinierte Projekte, wie das Einbetten **leitfähiger Touch-Oberflächen** in ein Objekt, ist Dual-Druck mit mehreren Druckköpfen für unterschiedliche Materialien eine Schlüsseltechnologie.

Dual-Druck

Druckplatzierung



Druckplatzierung

Bei der Platzierung eines 3D-Drucks im Bauraum auf der Bauplatte gibt es einige Regeln zu beachten, aber auch Tricks, um die Druckzeit zu verkürzen und das Druckergebnis zu verbessern.

Hier ein Beispiel: Möchten Sie einen Becher drucken, wird die Druckzeit je nach Platzierung des Drucks sehr unterschiedlich ausfallen. Platzieren Sie den Becher mit seinem Boden nach unten im Bauraum, kann der 3D-Drucker ihn ohne Probleme Schicht für Schicht drucken. Stellen Sie den Becher aber im Bauraum auf den Kopf, muss der Drucker für das gesamte Innere des Bechers eine Supportstruktur mitdrucken, damit der Becherboden am Ende oben nicht in der Luft gedruckt wird. Das bedeutet eine Menge Stützmaterial und eine um ein Vielfaches längere Druckzeit. Also: **Drehen Sie Modelle im Bauraum immer so, dass möglichst wenig starke Überhänge über 30° entstehen, damit wenig Stützmaterial gedruckt werden muss.**

Allerdings sollten Sie dabei die zweite Eigenart FDM-gedruckter Teile bedenken: **FDM-gedruckte Teile brechen zwischen zwei Schichten wesentlich leichter.** Das liegt daran, dass der abgelegte, noch heiße und zähflüssige Kunststoff-Faden aus dem Druckkopf in sich sehr homogen und damit bruch- und biegefest ist. Weil jede Schicht aber auf die vorherige, bereits erkaltete Schicht „gelegt“ wird, ähnelt die Verbindung zwischen zwei Schichten eher einer losen Verklebung. **Teile, die in einer Richtung besonders mechanisch beansprucht werden, sollten Sie also so rotieren, dass diese Richtung quer zu den Schichtgrenzen verläuft** — auch wenn Sie dadurch eventuell mehr Überhänge und deshalb Stützmaterial drucken müssen. Solche Teile sollten Sie auch **massiv** ohne Infill drucken (auch wenn es noch einmal länger dauert), um ihre Haltbarkeit zu optimieren.

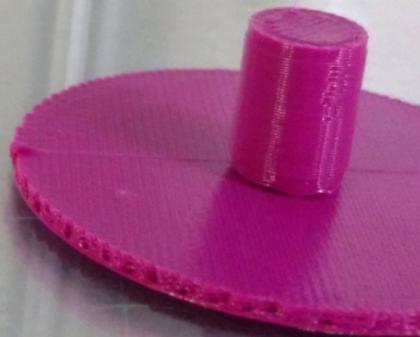
Druckplatzierung



Skirt



Brim



Raft

Rafts und Kopien

Druckplatzierung

Das Anhaften der ersten Schicht Kunststoff auf der Bauplatte ist wegen der Material- und Temperaturunterschiede besonders kritisch. Leicht löst sich das Modell hier während des Drucks durch Verziehen (**Warping**), was zu einem Fehldruck führen kann.

Deshalb drucken die meisten FDM-Drucker zu Beginn ein **Raft** oder ein dünneres und damit schnelleres, aber auch weniger zuverlässiges **Brim**. Beide sind kleine Plattformen als Unterlage, die etwas größer als das eigentliche Modell und anschließend leicht zu entfernen sind. Nutzen Sie diese Option vor allem, wenn Ihr Bauteil keine große **Auflagefläche** auf der Bauplatte hat.

Platzieren Sie solche Modelle **nicht direkt am Rand** der Bauplatte, damit Platz für Raft bzw. Brim bleibt. Der Slicer zeigt Ihnen an, wenn Ihr Modell nicht innerhalb des Bau-raums liegt.

Möchten Sie mehrere Modelle gleichzeitig drucken, positionieren Sie sie mit etwa

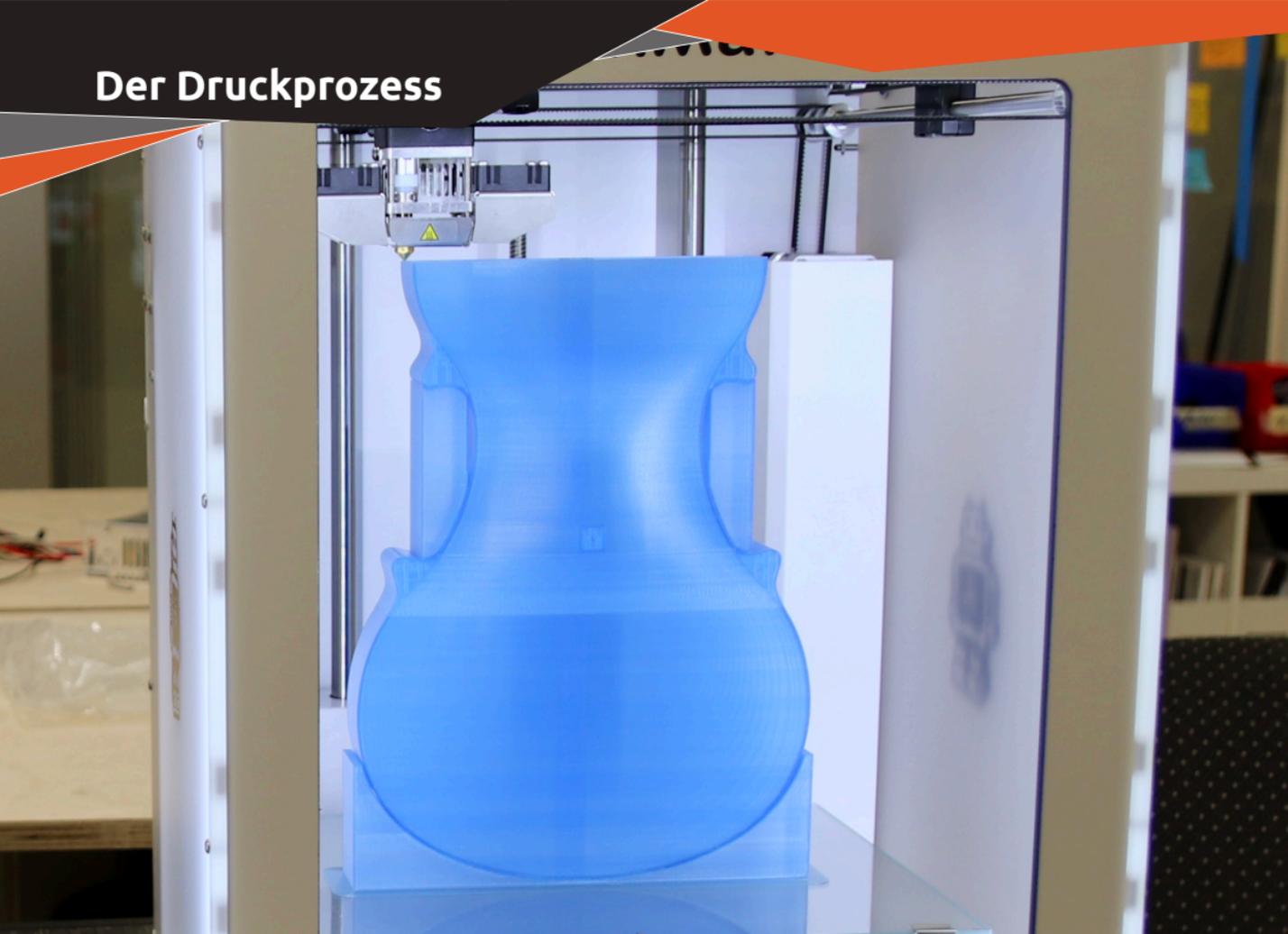
5–10 mm Abstand nebeneinander auf der Bauplatte. Zu geringe Abstände können die Drucke miteinander verkleben lassen; größere Abstände erzeugen zeitaufwändige Wege für den Druckkopf auf jeder Schicht.

Bei FDM-Druckern dauert der Druck von zwei Kopien nebeneinander gut doppelt so lange wie der Druck einer einzelnen Kopie eines Objekts. Sie sparen sich nur das Herausnehmen des ersten Objekts nach der Hälfte der Druckzeit.

Andere Verfahren wie zum Beispiel der Inkjet-3D-Druck haben eine **konstante Druckzeit**, egal wieviele Objekte sie nebeneinander in den Bauraum stellen. Der Grund: Der Druckkopf fährt hier normalerweise zur Aushärtung immer über den gesamten Bauraum, egal, wieviel Druckmaterial er dabei versprüht — wie ein Tintenstrahldrucker.

Rafts und Kopien

Der Druckprozess

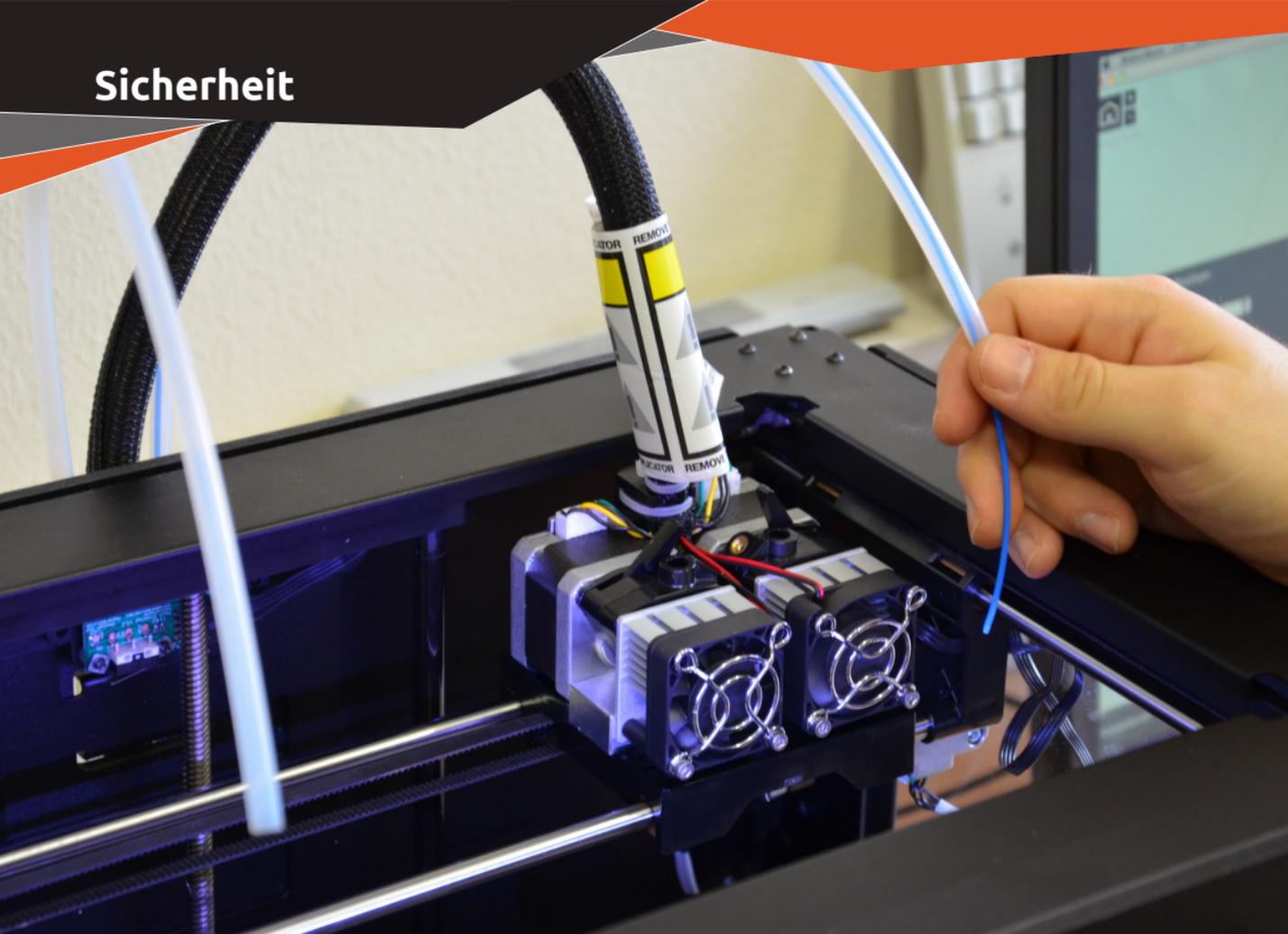


Der Druckprozess

Hier sind die zehn Schritte beim 3D-Drucken noch einmal im Überblick:

1. STL-Datei in der Drucker-Applikation (dem **Slicer**) am Rechner öffnen
2. Modell im Slicer auf der Bauplatte so positionieren, dass möglichst wenig steile **Überhänge** gedruckt werden müssen
3. „**Infill**“ wählen (20% ist üblich; nur besonders belastbare Teile massiv drucken)
4. **Schichthöhe** wählen: je kleiner, desto glatter wird die Oberflächenstruktur, und desto detailreicher, aber auch langsamer, wird der Druck
5. Auswählen, ob beim Druck **Stützmaterial** eingefügt werden soll
6. **Material** im Slicer auswählen und mit Hilfe der Menüs am Drucker gegebenenfalls ebenfalls wechseln, damit Slicer und Drucker stets wissen, mit welchem Material gedruckt wird
7. Modell „**slicen**“, um die gcode-Druckersteuerungsdatei zu generieren, und diese per USB, Netzwerk, SD-Karte oder USB-Stick an den Drucker übertragen
8. Am Drucker die gcode-Datei auswählen, den **Druck starten** und die ersten Minuten **beobachten**, ob der Druckkopf verstopft oder sich das Modell von der Bauplatte löst
9. Fertigen Druck **abkühlen** lassen, um Verziehen beim Herausnehmen zu vermeiden, dann von der Bauplatte **lösen** (ggf. mit einem Spachtel) und eventuelles Stützmaterial **entfernen**
10. **Nachbearbeitung** nach Bedarf — Abschleifen, Lackieren, Anmalen etc. (siehe Karte Nachbearbeitung)

Sicherheit



Sicherheit

Ein typischer FDM-Drucker verflüssigt Kunststoff bei Temperaturen um **200 °C**. Deshalb sollten Sie den Druckkopf auch nach dem Druck nie mit der Hand anfassen, bis er abgekühlt ist. Die meisten Drucker zeigen die aktuelle Temperatur des Druckkopfs an.

Viele Drucker haben eine **beheizte Bauplatte**, die auf dieselbe Temperatur wie der Druckkopf gebracht wird. Also auch die Bauplatte nicht berühren, bis sie abgekühlt ist.

PLA gilt als Druckmaterial für den Menschen als unbedenklich. Es wird beispielsweise auch in der Medizin für Implantate verwendet. Andere Materialien können problematischer sein. Leitende Materialien beispielsweise können während des Drucks gesundheits-schädliche Fasern freisetzen, und viele 3D-Filamente für FDM-Drucker, insbesondere **ABS und PA (Nylon)**, aber in geringerem Maße auch PLA, erzeugen Feinstaub und flüchtige organische Verbindungen (VOCs).

Hier sorgt ein geschlossener Drucker mit **Filtersystem** und/oder ein gut **belüfteter Raum** für eine sicherere Arbeitsumgebung.

Während des Drucks sollten Sie **nicht in den Bauraum greifen** und verhindern, dass sich Ihre **Kleidung** oder **lange Haare** in der Mechanik des Druckers verfangen. Auch hier hilft ein **geschlossener Bauraum**.

Lesen Sie das **Handbuch** zu Ihrem Drucker und weitere Informationen des Herstellers zum sicheren Umgang mit der Maschine, und lesen Sie das **Sicherheitsdatenblatt** für jedes neue Material, das Sie verwenden. Kaufen Sie keine Drucker oder Filamente, bei denen diese Informationen fehlen.

Nachbearbeitung



Nachbearbeitung

Der erste Schritt nach dem Druck ist fast immer das Entfernen des **Rafts/Brims**. Hier helfen Spitzzange und Bastelmesser.

Entfernen Sie dann eventuelles weiteres **Stützmaterial** je nach verwendetem Material. Entfernen Sie auch **Fäden**, die beim Druck durch Stringing oder Oozing entstanden sind. Bei Objekten mit geraden Kanten hilft ein Entgratungswerkzeug, bei Drucken mit vielen Rundungen Schleifpapier.

Ist Ihnen die gedruckte Oberfläche zu riffelig, können Sie sie weiter glätten. Einige Polymere wie ABS können Sie mit chemischen Dampfprozessen auf der Basis von **Aceton** oder ähnlichen Lösungsmitteln glätten.

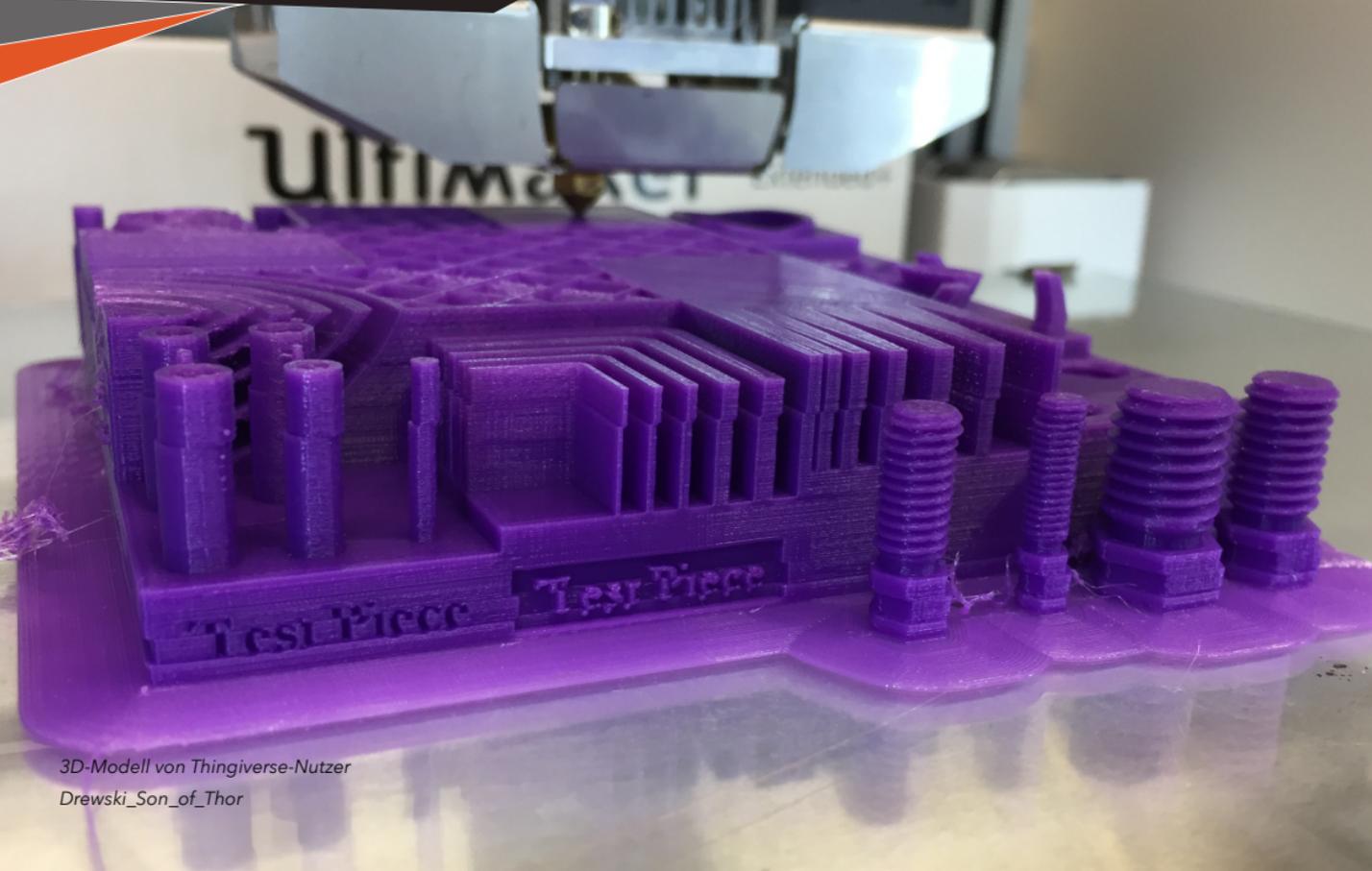
Zur **mechanischen Glättung** eignet sich für ebene Flächen ein elektrischer Handschleifer; kleine Flächen und schwer erreichbare Stellen glätten Sie besser mit einem Dremel mit entsprechenden Aufsätzen. Aber Vorsicht: Hohe Umdrehungszahlen und starker Druck

können die verhältnismäßig empfindliche Kunststoff-Oberfläche zerstören oder das Material zum Schmelzen bringen.

Schließlich können Sie 3D-Drucke natürlich anmalen, lackieren oder zum Beispiel mit einem UV-Drucker bedrucken.

Bitte achten Sie auch in der Nachbearbeitung auf Ihre **Sicherheit**. Tragen Sie beim Schleifen eine geeignete Atemschutzmaske und lesen Sie bei der Arbeit mit Lösungsmitteln die Sicherheitsanweisungen.

Troubleshooting



3D-Modell von Thingiverse-Nutzer
Drewski_Son_of_Thor

Troubleshooting

1. Erfolgreich FDM-Drucken hat viel mit der richtigen **Temperatur** zu tun. Suchen Sie sich aus dem Datenblatt (Technical Data Sheet) Ihres Materials die empfohlene Schmelztemperatur heraus.
2. Jeder Drucker und jedes Material verhalten sich verschieden. Machen Sie bei neuen Materialien vorher einen Testdruck. Ein gut dokumentiertes Testmodell ist der #3DBenchy von CreativeTools.se. So sehen Sie, ob Ihre Einstellungen für das aktuelle Material passen.
3. Wenn Sie ein Modell zum Ausdrucken von Plattformen wie Thingiverse herunterladen, finden Sie dort oft auch Tipps für die Druckeinstellungen.
4. Prüfen Sie, ob sich das Filament ohne Widerstand von der Rolle abwickeln kann. Sonst kann es sich während des Drucks verhaken und der Druck fehlschlagen.
5. Bevor Sie einen Drucker das erste mal in Betrieb nehmen, **richten Sie die Bauplatte aus**, damit sie waagrecht ist. Viele moderne Drucker kalibrieren dies automatisch. Schauen Sie ins Handbuch.
6. Stellen Sie Ihren 3D-Drucker auf einen festen, ebenen Untergrund. Tische mit Rollen können zu Fehldrucken führen.
7. Eines der häufigsten Probleme ist, dass sich 3D-Filament am oder im Druckkopf ansammelt und ihn verstopft, weil das Filament zu heiß wird oder zu schnell nachgeschoben wird. Bevor Sie den kompletten Druckkopf auseinanderbauen, probieren Sie ihn über das Wartungsmenü am Drucker aufzuwärmen und dann mit Draht das Filament herauszudrücken.
8. Mit ziemlicher Sicherheit sind Sie nicht die erste Person, die ein bestimmtes Problem hat. Oft hilft eine schnelle **Onlinesuche**, um eine Lösung zu finden.

3D-Druckbeispiele



***Modell einer Flugzeugturbine, gedruckt
auf einem MakerBot-FDM-Drucker***

Quelle: CMitchell / CC BY-SA

(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)

3D-Druckbeispiele



***Der inBloom Dress, ein aus 1,7 kg
flexiblem PLA gedrucktes langes Ballkleid***

Quelle: Maurizio Pesce aus Milan, Italien / CC BY
(<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>)

Fab Labs & Dienstleister



Quelle: Materialise GmbH

Fab Labs & Dienstleister

Wenn Sie keinen 3D-Drucker zu Hause haben, findet sich in Ihrer Nähe vielleicht ein **Fab Lab** (eine Community-betriebene offene Werkstatt mit 3D-Druckern und anderen Maschinen der digitalen Fabrikation) oder ein Makerspace, in dem Sie einen 3D-Drucker gegen geringe Kosten nutzen können.

Alternativ können Sie ihr 3D-Modell auch bei einem kommerziellen 3D-Druck-Dienstleister hochladen und in wenigen Tagen per Post erhalten. Dort können Sie Ihre Objekte auch in unzähligen weiteren Materialien und Qualitäten fertigen lassen — sogar in Gold.

Für einzelne Anschauungsobjekte, funktionsfähige Prototypen oder sogar Kleinserien sind Dienstleister eine zuverlässige Alternative. Die Preise erscheinen vielleicht zunächst vergleichsweise hoch, aber Sie sparen sich nicht nur die Anschaffung des entsprechenden eigenen Druckers und Materials, sondern

auch die Zeit und die Probleme, die während des 3D-Drucks auftauchen können.

Ein Dienstleister kann Sie auch bei der Wahl des richtigen Materials, der Größe des Drucks etc. unterstützen. Bei außergewöhnlichen Materialien wie zum Beispiel Metallen sind Dienstleister oft die einzige Alternative, da Sie Metall-3D-Drucker (noch) nicht im Fab Lab um die Ecke finden.

Allerdings dauert es mit einem Dienstleister natürlich länger als am eigenen Drucker. Drucken Sie zunächst einige Iterationen Ihres Designs selbst, bevor Sie Ihr fertiges Modell in höherer Qualität oder anderem Material beim Dienstleister drucken lassen.

Beispiele für Dienstleister sind *Shapeways*, *Materialise*, *Sculpteo*, *Trinckle* und *Fabberhouse*. Jeder Dienstleister hat ein anderes Angebotsspektrum; ein Vergleich lohnt sich.

In der Zukunft



Ein Soft-Robotics-Terrarium mit interagierenden Bewohnern, entstanden in einem Praktikum am Institut der Autoren. Die Silikon-Tentakel der Qualle wurden in 3D-gedruckten Formen gegossen (<https://hci.rwth-aachen.de/mcp1819>)

In der Zukunft

Die Spannweite des 3D-Drucks reicht bereits heute von künstlichen Organen bis zu Astronautenunterkünften. Und die Technologie entwickelt sich weiterhin rasant. Neue Materialien werden für den 3D-Druck entdeckt, neue Druckverfahren entwickelt, und der Druck mit vielen Materialien gleichzeitig wird immer praktikabler.

Noch kann zwar beispielsweise integrierte Elektronik nicht direkt mit einem 3D-Objekt gedruckt werden, doch die Forschung mit dem Fernziel „Smartphone aus dem 3D-Drucker“ läuft auf Hochtouren. Bis es soweit ist, wird allerdings wohl niemand mehr ein Smartphone wollen...

Wahrscheinlicher ist, dass in den nächsten Jahrzehnten der 3D-Druck immer alltäglicher wird und zunehmend durch intelligente, sich selbst organisierende Materialien ergänzt oder ersetzt wird.

Damit immer mehr Menschen den 3D-Druck als Technologie nutzen können, brauchen wir außerdem neue, noch bessere Software, die den Nutzer beim 3D-Design und beim 3D-Druck unterstützt. Hieran wird eifrig geforscht, auch von den Autoren.

Das Fernziel ist, eine Idee im Kopf in ein 3D-Modell im Computer verwandeln und direkt ausdrucken zu können — eben wie der Star Trek Replicator.

Die dritte digitale Revolution hat gerade erst begonnen.

Fab Lab Aachen



Fab Lab Aachen

Das Fab Lab Aachen (<http://fablab-aachen.de>) wurde 2009 vom Autor Prof. Dr. Jan Borchers an seinem Lehrstuhl für Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion an der RWTH Aachen gegründet. Die Autoren Anke Broucker und Marcel Lahaye sind hier wissenschaftliche Mitarbeiter.

Das Fab Lab Aachen dient Studierenden, aber auch allen anderen Menschen der Region als Ort, um die Möglichkeiten der digitalen Fabrikation praktisch kennenzulernen und zu nutzen, von verschiedensten 3D-Druckern und CNC-Fräsen über Laser- und Vinylcutter bis hin zu Platinenfräsen und einer Werkstatt für Embedded-Elektronikentwicklung. Es bietet seit seiner Eröffnung wöchentliche **Open Lab Days** sowie das monatliche **Aachen Maker Meetup** an.

(<http://hci.rwth-aachen.de/amm>)

2016 wurde durch das Fab Lab Aachen die RWTH als erste deutsche Universität Teil der von MIT-Professor und Begründer der Fab-

Lab-Bewegung Neil Gershenfeld koordinierten **Fab Academy**, gemeinsam mit den Fachhochschulen Rhein-Waal und Ruhr-West im Forschungsprojekt 3D-Kompetenzzentrum Niederrhein. In der Fab Academy lernen Teilnehmer die Grundfertigkeiten der Personal Fabrication. Prof. Borchers hält dort Gastvorträge zu Usability für Maker.

Gefördert unter anderem durch das BMBF-Forschungsprojekt **Personal Photonics** macht der Lehrstuhl außerdem seit Jahren Software und Maschinen der Personal Fabrication für kreative Endanwender einfacher benutzbar. Im BMBF-Projekt FAB101 erforscht er in einem Verbund die Einbettung von Fab Labs an deutschen Hochschulen. Mit *VisiCut* und *CutCAD* entstanden am Lehrstuhl innovative Design- und Steuerungssoftware für Lasercutter und der erfolgreiche DIY-3D-Scanner *FabScan*.

Lernkontrolle



Lernkontrolle

1. Was sind die Vorteile des 3D-Drucks gegenüber der Massenfertigung?
2. Welche Objekte lassen sich mit einem additiven Verfahren wie dem 3D-Druck herstellen, die mit einem subtraktiven Verfahren nicht ohne weiteres gefertigt werden können.
3. Wie funktioniert ein FDM-Drucker?
4. Was versteht man unter Stützmaterial?
5. Welches sind heute die wichtigsten 3D-Druckverfahren?
6. Wie funktioniert 3D-Scanning?
7. Was ist ein Slicer?
8. Können Sie drei verschiedene Druckmaterialien für FDM-Druck benennen?
9. Welcher Dateityp ist der Standard für 3D-Druckmodelle, welcher für geslicete Modelle?
10. Wozu dient ein zweiter Druckkopf?
11. Wie sollten Sie 3D-Modelle im Bauraum ausrichten?
12. Was ist ein Raft bzw. ein Brim?
13. Welche Arten der Nachbearbeitung gibt es für 3D-gedruckte Objekte?
14. Worauf sollten Sie für die Sicherheit beim 3D-Druck achten?
15. Welche Vor- und Nachteile hat der Druck bei einem Dienstleister?
16. Was ist ein Fab Lab?

Über die Autoren



Über die Autoren

Prof. Dr. Jan Borchers leitet seit 2003 den Lehrstuhl Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion an der RWTH Aachen. Zuvor lehrte er an der Stanford University im Silicon Valley und an der ETH Zürich. Seine Gruppe gehört zu Deutschlands erfolgreichsten Forscherteams auf der CHI, der weltweit wichtigsten Konferenz zur Mensch-Computer-Interaktion. An seinem Lehrstuhl eröffnete er 2009 Deutschlands erstes Fab Lab und forscht dort seitdem an neuen Benutzerschnittstellen und Designwerkzeugen für 3D-Druck und andere Verfahren der Personal Fabrication.

<http://hci.rwth-aachen.de/borchers>

Anke Brocker ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl von Prof. Borchers. Sie schloss ihren Master Informatik an der RWTH 2017 ab, absolvierte 2018 die Fab Academy und arbeitet an ihrer Promotion im Bereich Soft Robotics und Smart Jewellery.

<http://hci.rwth-aachen.de/brocker>

Marcel Lahaye ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl von Prof. Borchers. Er absolvierte die Fab Academy 2016, schloss seinen Master Informatik an der RWTH 2018 ab und promoviert zum Thema Dokumentationstools in Makerspaces.

<http://hci.rwth-aachen.de/lahaye>

Die Lernkarten-Reihe

Bombini Verlags GmbH
Kaiserstraße 235
53113 Bonn
www.bombini-verlag.de

Die Lernkarten im Bombini-Verlag

Die Lernkarten-Reihe im Bombini-Verlag behandelt die wichtigsten Werkzeuge einer modernen Maker-Werkstatt: den 3D-Drucker, den Lasercutter, den 3D-Scanner, den Mikrocontroller, die Fräse und die Nähmaschine.

Jedes Lernkarten-Set vermittelt vierfarbig die Grundkenntnisse im Umgang mit diesen digitalen Werkzeugen. Neben Basics werden praxisnahe Tipps und Tricks beschrieben. Attraktive Praxisbeispiele geben Anregungen für eigene Projekte.



3D-Druck

In den vergangenen zehn Jahren ist 3D-Druck vom Nischenthema zum globalen Phänomen avanciert. Der 3D-Drucker hat in vielen Profi- und Hobby-Werkstätten Einzug gehalten.

Das Lernkarten-Set *3D-Druck* verhilft zu einem gelungenen Einstieg in dieses faszinierende Herstellungsverfahren. Dabei wird die gesamte Werkzeugkette — von der Hardware bis zur Software — detailliert mit Bild und Text beschrieben, die Druckmaterialien werden vorgestellt und der Druckprozess Schritt für Schritt erläutert. Druckbeispiele demonstrieren die Leistungsbreite dieses modernen Fertigungsverfahrens.

Das Lernkarten-Set *3D-Druck* besteht aus 27 doppelseitigen, farbigen Lernkarten. Jede Lernkarte behandelt ein abgeschlossenes Thema.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Die Lernkartensets wurden gedruckt mit freundlicher Unterstützung der RWTH Aachen und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in dem Förderprogramm Photonik Forschung Deutschland, Förderkennzeichen 13N14065.



ISBN 978-3-946496-18-2
12,95 € [D]

www.bombini-verlag.de


bombini
verlag