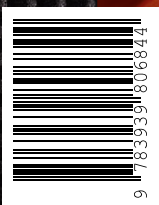
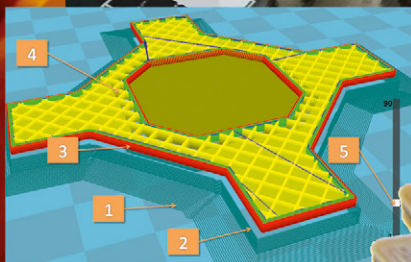


9,80 Euro

3D-Druck workbook

Grundlagen, Technik, Praxis-Tipps



TRUCKS & DETAILS

Konrad Osterrieters EIGENBAU-SPEZIAL

Jetzt Teil 2
bestellen

Das neue Sonderheft aus der TRUCKS & Details-Redaktion ist im Internet bei www.alles-rund-ums-hobby.de oder telefonisch unter 040 / 42 91 77-110 erhältlich.



Meine Tricks.
Meine Technik.
Meine Modelle.

Ihr

Konrad Osterrieter

Konrad Osterrieter

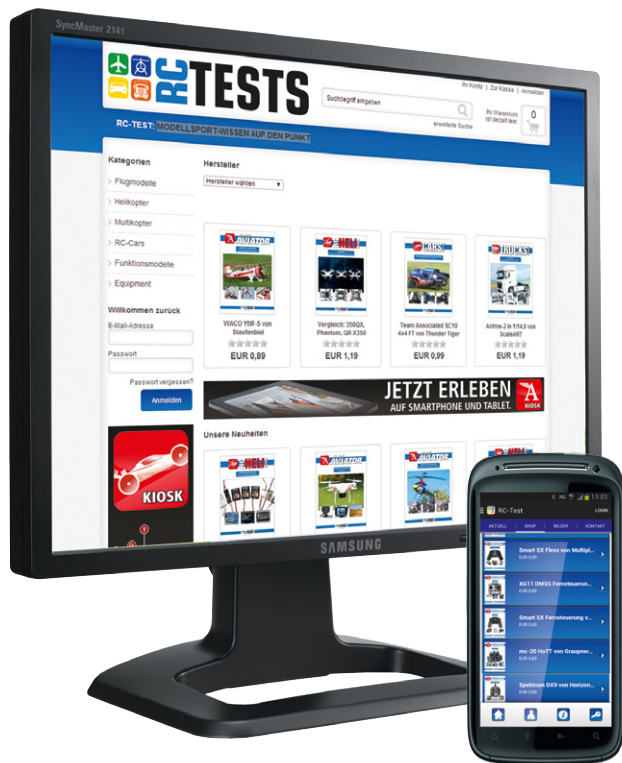


Ebenfalls erhältlich im
TRUCKS & Details-Shop:
Eigenbau-Spezial Teil 1



RC-TESTS

Jederzeit & überall: Testberichte einzeln kaufen



Modellsport-Wissen auf den Punkt

Im RC-Tests-Shop gibt es Testberichte führender Fachzeitschriften über Flug-, Heli- und Multikoptermodelle, über RC-Cars und Funktionsmodelle sowie Zubehörprodukte und Technischequipment.

- Ab 49 Cent pro Artikel
- Als PDF sofort verfügbar
- Alle Sparten, alle Hersteller
- Stetig wachsendes Angebot



www.rc-tests.de

QR-Code scannen und die Website von RC-TESTS besuchen.



QR-Code scannen und die kostenlose RC-TESTS-App installieren.

A AVIATOR

R HELI ACTION

C CARS

T TRUCKS

RAD & KETTE

FLUGMODELL UND TECHNIK
FMT
Die Schweizer Fachzeitschrift

TRUCK
modell

Maschinen
im Modellbau

MODELLWERFT
Das führende Fachmagazin für Schiffsmodellbauer

prop
das modellmagazin des österreichischen aero-club

Inhalt

Vorwort 6

3D-Druck-Grundlagen 8
Eine faszinierende Technik

Schichtbetrieb 16
3D-Druck als Open-Source-Projekt

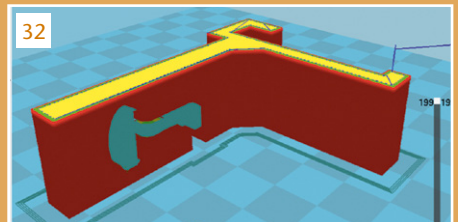
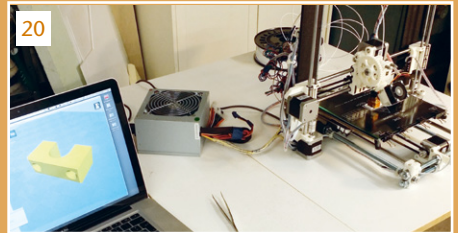
Printed Reality 20
Montage des RepRap Prusa i3 Rework

Entdeckungsreise 32
Erste praktische Schritte mit einem 3D-Drucker

Allrounder 48
Stepcraft 600 als 3D-Drucker

Druckmaschinen 60
3D-Printer für Modellbauer

Impressum 66



APPS FÜR MODELLBAUER

Aktuelle News von Firmen, Vereinen und Verbänden – direkt aufs Smartphone.



Aviator-News



Berlinski RC



DMFV-News



Graupner



NEM2



NEM2



NEM2



NEM2



HORIZON HOBBY



MULTIPLX



PREMACON RC



RC-Car-News



RC-CAR-SHOP-HOBBYTHEK



RC-Heli-News



RC-TESTS



RC-TRUCKS



NEM2



NEM2



NEM2



NEM2



Staufenbiel



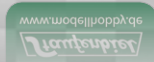
Thunder Tiger



Vario Helicopter



XciteRC NEWS



www.modellhobby.de



THUNDER TIGER



VARIO HELICOPTER



XCITE RC



QR-Codes scannen und die kostenlosen Apps für Modellbauer installieren.



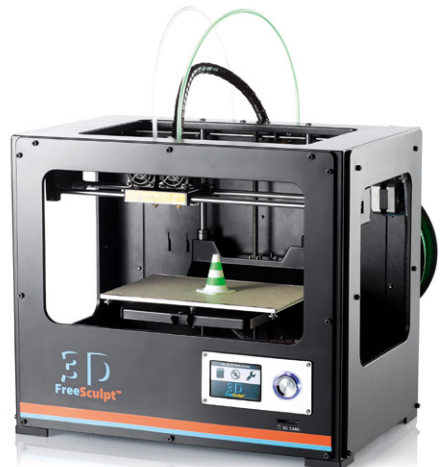
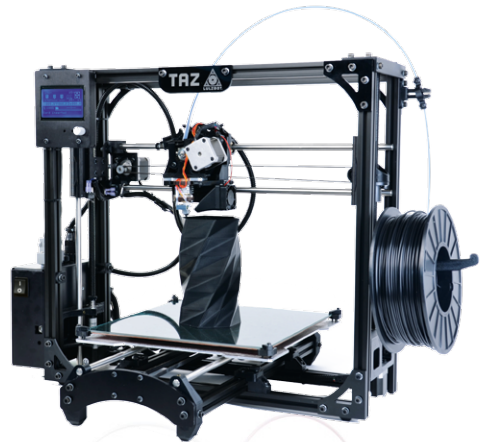
Vorwort

Noch vor gar nicht so langer Zeit schien es sich um Science Fiction zu handeln, wenn man darüber nachdachte, dass wie aus dem Nichts dreidimensionale Körper erschaffen werden könnten. Wie von Geisterhand, automatisch, hoch präzise. Doch was klingt wie aus dem Schurken-Labor eines James Bond-Bösewichts ist mittlerweile Realität. Und mehr noch. Es ist für jedermann machbar.

Die 3D-Druck-Technologie gehört zu den bemerkenswertesten technischen Innovationen, die in den letzten Jahren Einzug in den Modellbau gehalten haben. Und wie viele Neuentwicklungen zuvor, brauchte auch der 3D-Druck eine Weile, ehe er den Sprung von der Spezialanwendung hin zur Massentauglichkeit schaffte. Zwar ist das Ganze auch heutzutage natürlich noch kein Schnäppchen, doch man kann mittlerweile mit zumindest überschaubarem finanziellen Aufwand in die faszinierende Technik einsteigen.

Im aktuellen 3D-Druck workbook aus der TRUCKS & Details-Redaktion finden Interessierte alles, was man zum Start in diese Fertigungsmethode wissen muss: von Grundlagen und Basiswissen über konkrete Praxis-Tipps bis hin zur Vorstellung unterschiedlicher 3D-Drucker.

Die TRUCKS & Details-Redaktion



Die Modellbauzeitschrift für Nutzfahrzeug-Freunde



TRUCKS & DETAILS

KENNENLERNEN FÜR 6,90 EURO

TRUCKS & Details bringt
sechsmal jährlich alles über

- ▶ European & American Trucks
- ▶ Aktuelle Fahrzeuge & Oldtimer
- ▶ Alle Maßstäbe von 1:8 bis 1:87
- ▶ Baumaschinen
- ▶ Neuheiten am Markt
- ▶ Elektrik & Elektronik
- ▶ Materialbearbeitung
- ... und vieles mehr!



3 für 1
Drei Hefte zum
Preis von einem
Digital-Ausgabe
inklusive

Ihre Schnupper-Abo-Vorteile

- ✓ 13,80 Euro sparen
- ✓ Keine Ausgabe verpassen
- ✓ Versand direkt aus der Druckerei
- ✓ Jedes Heft im Umschlag pünktlich frei Haus
- ✓ Regelmäßig Vorzugsangebote für Sonderhefte und Bücher

Im Internet: www.trucks-and-details.de



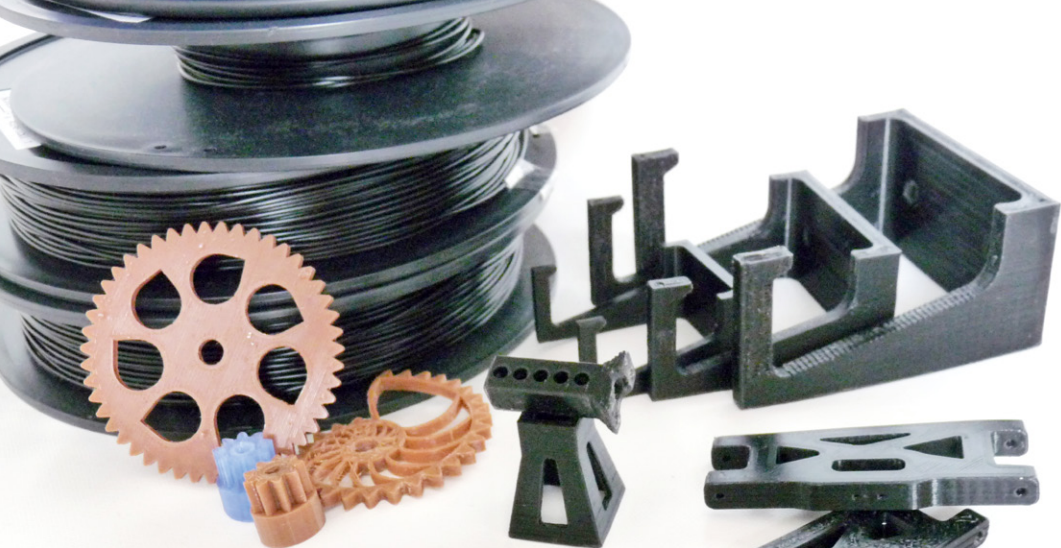
**DAS DIGITALE
MAGAZIN**

JETZT ERLEBEN

Weitere Informationen unter www.trucks-and-details.de/digital



QR-Codes scannen und die kostenlose
Kiosk-App von TRUCKS & Details installieren.



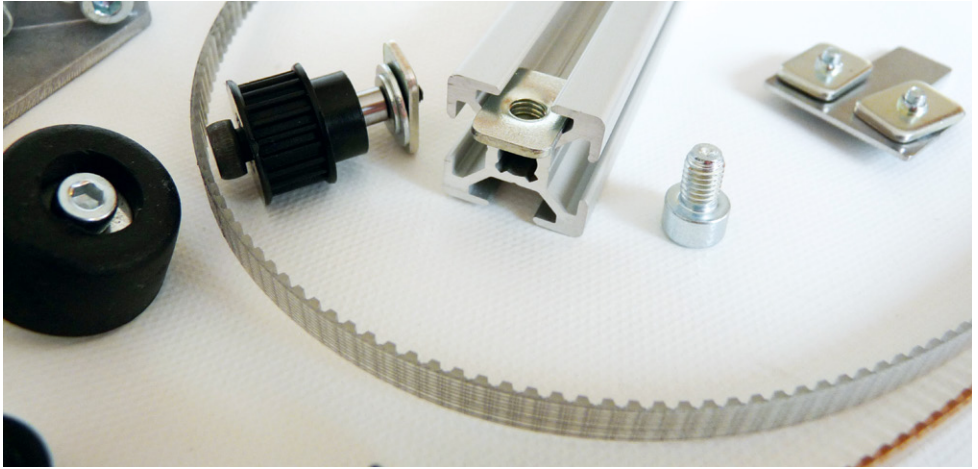
3D-Druck- Grundlagen

Eine faszinierende Technik

Das Thema 3D-Druck ist eine immer interessanter werdende Anwendung im Modellbau. Die Grundkenntnisse und etwas Geschick vorausgesetzt, kann man eine Vielzahl an Teilen fertigen. Da die Gerätepreise mittlerweile bei gut 400,- bis 500,- Euro beginnen, scheint ein 3D-Drucker für viele Anwendungen eine spannende Lösung zu sein.

Die grundlegende Arbeitsweise hat sich seit der Erfindung des 3D-Drucks vor fast 30 Jahren kaum verändert. Ein Objekt wird am Rechner in seine einzelnen Schichten zerlegt und anschließend lassen sich diese Schichten von einer Maschine übereinander gestapelt zu einem realen Objekt ausdrucken. Derartige Herstellungsverfahren

bezeichnet man generell als additive Schichtfertigung (englisch: ALM). Denn hier wird anders als beim zerspanenden Fertigungsprozess nicht Material abgetragen, um das fertige Objekt zu erzeugen, sondern hinzugefügt. Im Laufe der letzten Jahre haben sich einige Verfahren etabliert, die wichtigsten stellen wir kurz vor.



Die Konstruktionsweise vieler 3D-Drucker basiert auf einem solidem Grundgerüst und einem per Riemenantrieb gesteuerten Druckkopf bestehend aus Extruder und Hotend

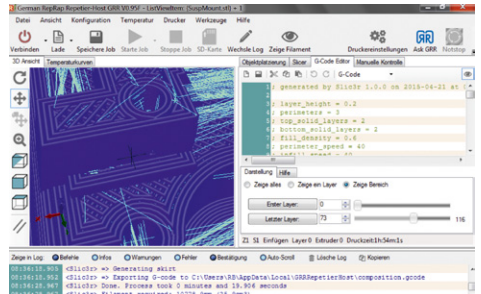
3DP

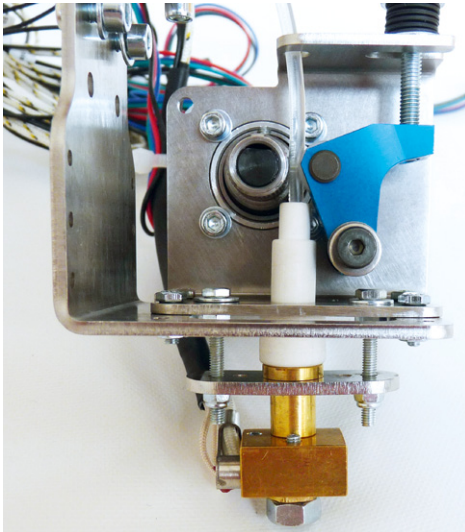
Hierunter versteht man den 3D-Druck mit Pulver. In der Maschine werden einzelne Schichten eines Pulvers mittels eines speziellen Klebstoffs jeweils mit der darunterliegenden Schicht verklebt. In eine Schicht Pulver wird die Schichtebene des Objekts mit Klebstoff gezeichnet, anschließend platziert ein Raker eine neue Pulverschicht darüber und die nächste Schicht Kleber wird gedruckt. Die Modelle benötigen keine Stützstrukturen, denn das nicht benötigte Pulver um das Objekt hält es zusammen. Als Materialien kommen neben Keramik und Gips auch Glas oder Kunststoff zum Einsatz. Die fertigen Objekte können je nach Pulver durchaus detailreich sein, wobei die geringe Festigkeit (brüchiges Material) oftmals keinen Einsatz in realen Bedingungen ermöglicht. Eine späterer Überzug mit einem vor Feuchtigkeit schützenden Lack sorgt für eine glatte Oberfläche.

Die freie Repetier Host-Software ist die Basis zur Ansteuerung eines Druckers und seinen Einstellungen. Zum Erstellen der Schnittebenen wurde die Software Slicer genutzt

SLS/SLM

Beim Selektiven Laser Sintern oder Selective Laser Melting (SLS/SLM) werden mit einem CO₂-Laser unter Schutzatmosphäre einzelne Pulverschichten zu einem homogenen Objekt verschmolzen. Je nach Laserleistung kann mit diesen Maschinen sogar Metallpulver zum Erstellen von Stahl oder Edelmetallobjekten genutzt werden. Die Detailtreue des 3DP-Verfahrens wird dabei übertroffen und mit einer für den Praxisbetrieb sehr gut nutzbaren Festigkeit ergänzt. Dieses Verfahren wird in der Industrie schon seit Langem für belastbare Test- und Prototypenteile genutzt und





Neben dem blauen Andruckteil kann man gut den Extrudermotor samt Ritzel erkennen. Dieser sorgt für einen Transport des von oben zugeführten Filaments in das darunterliegende Hotend

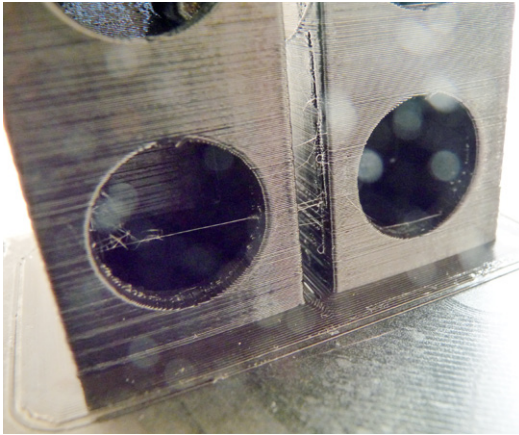
kommt je nach Füllgrad sehr dicht an die Belastbarkeit eines Spritzgussteils heran.

EBM

Ähnlich dem SLS-Verfahren werden beim Electronic Beam Manufacturing (EBM) die Pulverschichten im Vakuum unter Nutzung eines Elektronenstrahls miteinander verbunden. Da kein Sauerstoff in das Objekt eindringen kann, entstehen sehr stabile Bauteile, zum Beispiel aus Titan. Die Detailtreue ist nicht so gut wie beim SLS-Verfahren, dafür ist die Druckgeschwindigkeit aber um ein Vielfaches höher.



Neben der zur Materialverringering typischen Wabenstruktur im Inneren eines Bauteils kann man auch die geringe Schichtdicke von nur 0,2 Millimeter erkennen



Bei 0,2 Millimeter Schichtstärke sind auch Rundungen wirklich annähernd rund. Wobei man gut die etwas unsaubere Oberfläche im Inneren der Rundungen erkennen kann

FFF

Ähnlich einer sehr feinen Heißklebepistole wird bei der Fused Filament Fabrication oder beim Fused Deposition Modelling (FFF/FDM) ein Kunststoff-Filament mit einer CNC-gesteuerten Dreiachs-Maschine auf einem Drucktisch in einzelnen Schichten zu einem 3D-Objekt verarbeitet. Damit die Haftung des Objekts möglichst gut ist, werden vermehrt beheizbare Drucktische angeboten. Je nach Preisklasse gehören auch SD-Kartenleser samt Displays oder Druckköpfe mit mehreren Extrudern zum Lieferumfang. Erstere sorgen für einen PC-unabhängigen Druckbetrieb und Letztere ermöglichen den mehrfarbigen Druck.

Fachbegriffe

Hotend: Heizpatrone samt Halterung und Temperaturfühler(n)

Extruder: Filamentfördereinheit (Schrittmotor samt Antriebsritzel und Andruckkonstruktion)

Gcode: Von allen 3D-Druckern genutzter Code mit Verfahrenswegen, Geschwindigkeitswerten, der Temperatur und allen weiteren nötigen Daten zur Positionierung des Druckkopfs und Förderung des Filaments

Slicer/Skeinforge/Simplify/Cura: Programme zum Erstellen der Schichten und des Gcode

STL-Datei: 3D-Objekt bestehend aus Dreiecken (Polygonen)

Brim: Breitere unterste Objektkontur zur Haftverbesserung

Skirt: Sockel aus den untersten Schichten zur Haftverbesserung

Feed: Filamentzufuhr

Retract: Rückzug des Filaments, um zu viel Materialauftrag zu verhindern

Bed: Druckplattform (je nach Drucker auch beheizbar, für ABS Pflicht)

Blue Tape: Abklebekreppband von 3M als Haftverbesserung

Warp Effekt: Verziehen des Objekts (vor allem an den Kanten)

Filling: Die innere Füllung eines hohlen Objekts (Prozentsatz kann von 1 bis 99 Prozent variieren)

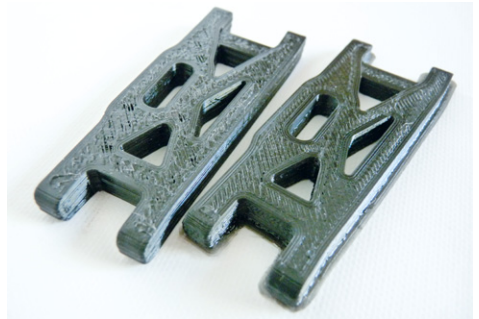
Raft: Eine Platte unterhalb des Objekts, um auch feinere Strukturen besser an die Grundfläche anzuheften

Die Feineinstellungen der Softwarepakete ermöglichen Unterschiede in vielen Bereichen. Hier ist es auf der rechten Seite die bessere und glattere Oberfläche des ansonsten baugleichen Teils

SLA/STL

Das Stereo Lithografie-Verfahren (SLA/STL) ist das älteste 3D-Druckverfahren überhaupt. Hierbei wird eine Schicht aus einem flüssigen Photopolymer mit einem Laser belichtet. Der so behandelte Bereich härtet aus und bildet die einzelnen Schichten. Das Modell wächst dabei nicht wie üblich von unten nach oben, sondern es wird von oben nach unten aus dem flüssigen Polymer „gezogen“. Nach dem Druck muss das Objekt weiter belichtet werden, um einen besseren Härte zu erreichen. Die Materialkosten sind teils sehr hoch, dafür können sehr feine Details wiedergegeben werden.

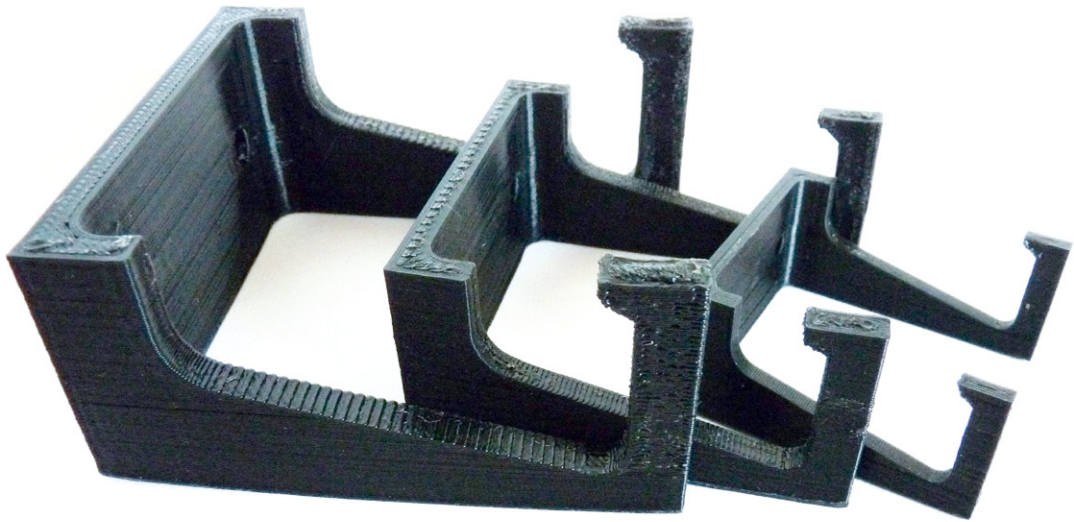
Keines der ersten drei Verfahren ist derzeit für Privatanwender erschwinglich und auch das letzte ist nur in einigen eher teuren Maschinen



zu finden. Das für das SLA-Verfahren benötigte Photopolymer ist zudem ebenfalls noch sehr teuer, daher nutzen fast alle derzeit auf dem Markt befindlichen Drucker die FDM-Technik mittel befindlichen Drucker die FDM-Technik mittel PLA-, ABS- oder Nylon-Filament. Einige Exoten können auch Laywood – eine Art Holzfilament – oder andere ungewöhnliche Materialien wie Laybrick (Gipsanteil) oder Ninja-Flex verarbeiten. Letzteres ermöglicht Objekte aus flexiblem Gummi und erfordert viel Übung und eine sehr genaue Justierung des Druckers. Die Software



Hier kann man gut einen etwas zu kräftigen Materialausstoß im Bereich eines der Bohrlöcher erkennen. Die noch flüssige Masse verklebte sich am Druckkopf und riss aus der Basisebene heraus – solche Fehldrucke lassen sich nie ganz ausschließen



Eine weitere Funktion beim Drucken von 3D-Teilen ist eine komplett variable Gestaltung der Größe. Per Multiplier kann das erste Objekt auf verschiedenste Werte geschrumpft oder vergrößert werden, um so den maßstabstreuen Druck der Teile steuern zu können

zur Vorbereitung der STL-Dateien wird in vielen Fällen mitgeliefert, wobei derzeit vier bekanntere Varianten mit verschiedenen Funktionen auf dem Markt sind. Allen gemein sind die Möglichkeiten zur Schichterstellung aus STL-Dateien.

Cura, Slicer, Skeinforge und Simplify erstellen aus einer STL-Datei den entsprechenden Gcode für den 3D-Druckvorgang im Gerät. Alle Varianten bieten dabei sehr viele Einstelloptionen und bringen Sonderfunktionen mit. Der Hohlraum eines Objekts kann dabei zu einem frei einstellbaren Prozentsatz mit einem Rechteck-, Waben- oder Rautengitter gefüllt werden. Dies erhöht die Festigkeit, aber verlängert auch den Druckvorgang. Wobei dieser Einfluss auch für die Verfahrensgeschwindigkeit und die äußere Wandstärke gilt. Eine insgesamt einfach zu bedienende Version mit saubereren Ergebnissen für PLA und ABS stellt Simplify dar. Skeinforge ermöglicht sehr tiefgreifende Einstellungen unter Verzicht auf aktuellere Dual-Extruder-Funktionen und sowohl Cura als

auch Slicer eignen sich sehr gut für den Einstieg bei etwas begrenztem Einstellpotenzial. Simplify erlaubt zudem bei Dateien mit balkonähnlichen Überhängen das freie Positionieren des Stützmaterials. Die anderen Softwarepakete erzeugen diese Stützstrukturen zwar auch, aber nur automatisch.

Erste Schritte

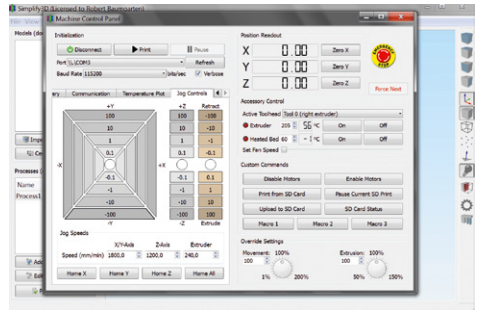
Der 3D-Druck ist somit keine echte Plug-and-Play-Variante eines normalen Druckers. Jeder Interessent sollte sich zunächst die bis auf Simplify kostenlosen Softwarepakete herunterladen und dann mit einigen bei Thingiverse oder Yeggi erhältlichen STL-Dateien erste Schritte versuchen. Nachdem man die Funktionen der Programme verstanden hat, lohnt sich ein Blick in diverse Maker-Foren, denn immer mehr Fab Labs (offene High-Tech-Werkstätten mit dem Ziel, jedem moderne Fertigungstechnik verfügbar zu machen) sind in den größeren Städten zu finden. Dort kann man gegen

Unkostenerstattung seine ersten Modelle ausdrucken. Wer eine Bücherhallenkarte hat, kann in einigen Städten seine kleineren Modelle sogar kostenlos zum 3D-Druck einreichen.

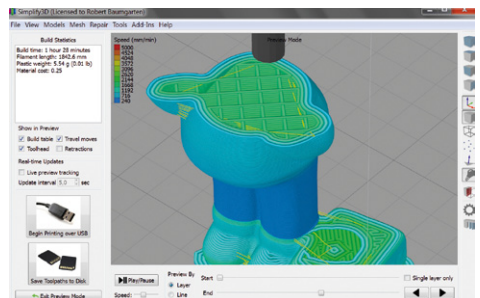
Die 3D-Drucker selbst bestehen in der Regel aus einer Metall/Kunststoff-Mischbauweise und verfügen über mindestens drei Schrittmotoren samt Ansteuerungsplatine. Die Ansteuerung des Drucktisches oder des Extruders erfolgt in der Regel über einen Riemenantrieb. Damit sind derzeit Druckgeschwindigkeiten von bis zu 100 Millimeter pro Sekunde machbar. Die Art der Konstruktion, die Größe des Drucktisches sowie die nutzbaren Materialien hängen allesamt von den eigenen Bedürfnissen ab. Kleinere 3D-Drucker ohne Gehäuse und mit maximal 15 Kubikzentimeter Bauraum sind schon für überschaubares Geld zu bekommen. Je mehr unterschiedliche Materialien und je größer der Drucktisch sein soll, desto teurer wird ein 3D-Drucker. Der eigentliche Druck dauert je nach Modell, dessen Größe sowie dem Detail- und Füllgrad mitunter deutlich länger als 6 bis 12 Stunden, ein separater Abstellplatz zur Vermeidung von Lärmbelastung ist daher sinnvoll.

Ausprobieren

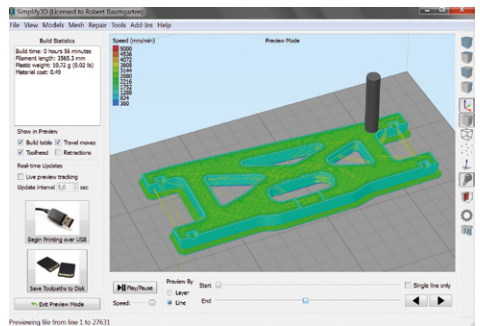
Der 3D-Druck ist mit etwas Einarbeitung ohne Probleme in vielen Bereichen nutzbar. Wer sich einen Bausatzdrucker kauft, sollte nicht nur technisch versiert sein, sondern auch die eine oder andere Änderung daran selbst vornehmen können: Herumprobieren und Verbessern gehört schlicht dazu. Für etliche Dinge des Modellbaus reichen die derzeit schon ab etwa 500,- Euro erhältlichen FDM-Drucker vollkommen aus. Je spezieller die druckbaren Materialien sind, desto tiefer muss man sich in die Materie einarbeiten und viel ausprobieren, um zu einem guten Ergebnis zu kommen.



Die Software Simplify verfügt über eine sehr übersichtlich Steueroberfläche und lässt sich auf nahezu alle FDM-Drucker konfigurieren



Objektabhängige Druckgeschwindigkeit: Je filigraner das Objekt ist (bläulicher) desto langsamer arbeitet der Drucker. Bei soliden Passagen kann die Software die Verfahrensgeschwindigkeit der Maschine hochfahren (grüne Bereiche), um so Zeit beim Druck zu sparen



Die Simulation in den meisten Steuerprogrammen ermöglicht eine 3D-Darstellung der einzelnen Schichten, um etwaige Fehler oder Schwachstellen erkennen und beheben zu können

JETZT DOWNLOADEN

Entdecke, was möglich ist



Exklusiv erhältlich im RC-Heli-Action-Kiosk für Apple und Android

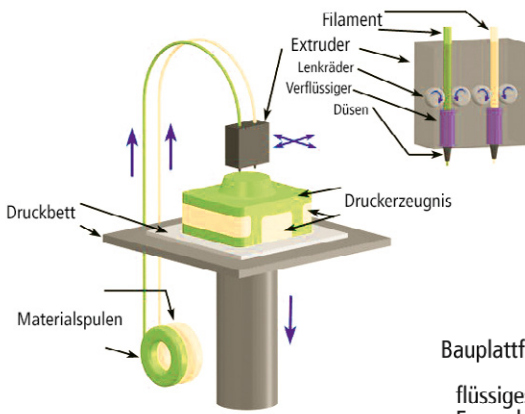
DAS DIGITALE MAGAZIN – JETZT ERLEBEN

 rcdrones

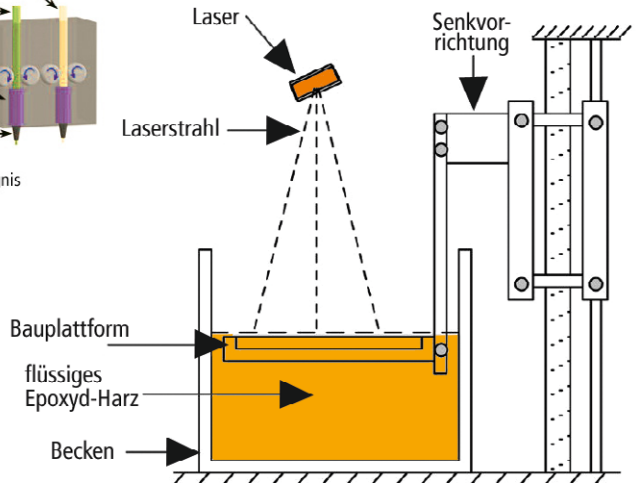
Weitere Informationen unter www.rc-drones.de

QR-Codes scannen und die kostenlose
KIOSK-App von RC-Heli-Action installieren





So arbeitet das FDM-Dual-Head, das allerdings in privatem Bereich noch nicht komplett etabliert ist



Schichtbetrieb

3D-Druck als Open-Source-Projekt

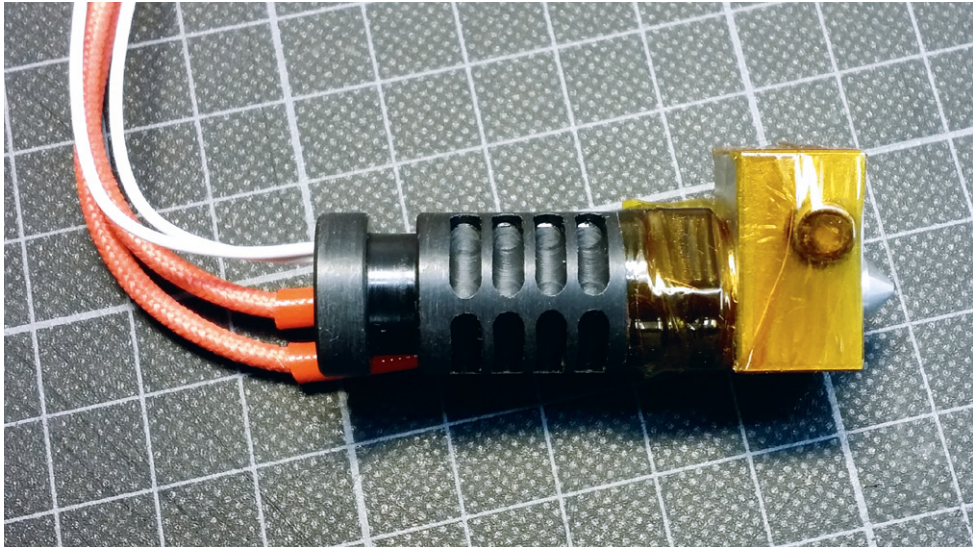
Profis setzen sie schon lange ein, ambitionierte Bastler seit Mitte des vergangenen Jahrzehnts – die 3D-Drucktechnik. Unter dieser Sammelbezeichnung subsumiert man verschiedene Technologien, wie das Lasersintern, die Stereolithographie oder das Fused Deposition Modelling. Allen diesen Verfahren ist eines gemein: sie sind in der Industrieausgestaltung aufwändig, oftmals groß und ziemlich teuer.

Neben den hohen Anschaffungskosten von 3D-Druckern und dem nötigen Platzbedarf scheidet insbesondere das Lasersintern und eigentlich auch die Stereolithographie noch aus einem anderen Grund für den Einsatz im Hobbybereich aus: Die Verbrauchsmaterialien wie Metallpulver oder UV-härtende Harze sind schwierig zu lagern, oft gesundheitlich bedenklich und im Anschaffungspreis für den Privatanwender kaum erschwinglich. So kosten Kunststoffmaterialien gerne mal zwischen 500,- bis 1.500,- Euro pro Kilogramm (kg). Bedenkt man dann noch, dass

zum Beispiel einmal eingefüllte UV-Harze, die beim Druck nicht verbraucht wurden, oftmals für die Wiederverwendung nicht mehr im vollen Umfang genutzt werden können, dann werden mit diesen Verfahren gedruckte Modelle enorm teuer.

Open-Source

Aus diesen Gründen hat sich Mitte des vergangenen Jahrzehnts eine Technologie für den Heimeinsatz herausgebildet, die diese Hürden überwinden will: das Open-Source Eigenbau-3D-Drucker-Projekt RepRap (das steht für Replicating



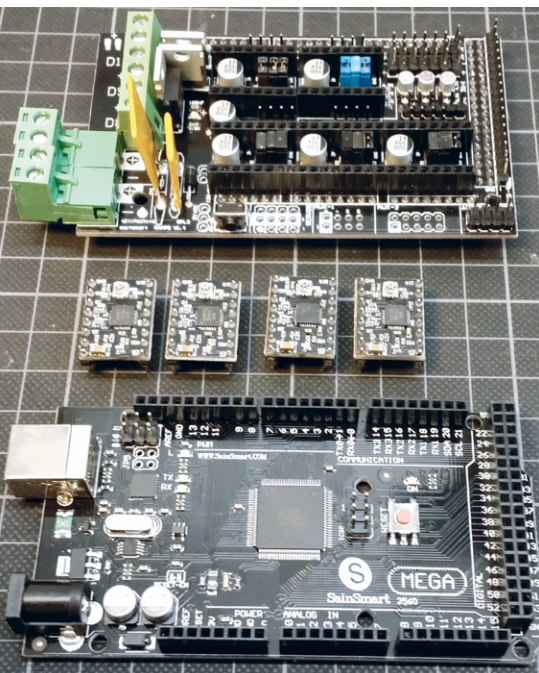
**Das günstigere Hotend (J-Head) kann nur PLA aufschmelzen.
Für höhere Temperaturen ist ein Ganzmetall-Hotend notwendig**

Rapid Prototyper). Dahinter steht die Idee, aus einfach zu beschaffenden Materialien für wenige hundert Euro einen zuverlässigen und einfach nachzubauenden 3D-Drucker verfügbar zu machen. Seit gut zwei Jahren ist das Projekt an einem Punkt angelangt, von dem man sagen kann, dass die Konstruktion ein ausgereiftes Stadium erreicht hat. RepRap-Drucker arbeiten nach dem sogenannten „Fused Deposition Modelling“ (abgekürzt FDM)-Verfahren. Diese Schmelzschichtungsprozedur wird oft auch mit einer Heißklebepistole verglichen. Neben 3D-Druckern, die nach dem FDM-Verfahren arbeiten, haben sich in jüngster Zeit Projekte in die Öffentlichkeit gewagt, die 3D-Drucker für den Heimgebrauch anbieten, die nach dem Stereolithographie (abgekürzt SLA)-Verfahren arbeiten. Vorteil dieser Druckprozedur ist kurzgesagt die überaus detailreiche Modelldarstellung, sodass winzigste Details sauber abgebildet werden können und eine hohe Oberflächengüte erreicht

wird. Der Nachteil ist aber die doch recht problematische Handhabung der flüssigen, sogenannten Photopolymere, die zudem im Vergleich zum FDM-Verbrauchsmaterial recht teuer sind.

Fused Deposition Modelling

Das Verfahren: das zu druckende Objekt wird dadurch erstellt, dass aus einer beheizten Düse ein aufgeschmolzener Kunststoffaden in hintereinander folgenden Schichten auf dem sogenannten Druckbett abgelegt wird. Beim Druck werden die Schmelztemperatur, die Menge des aufgeschmolzenen Kunststoffs und die Schichtdicke so gewählt, dass sich die einzelnen Schichten miteinander verbinden und so ein solider Körper entsteht. Im Gegensatz zur oben erwähnten Heißklebepistole ist der Düsendurchmesser beim FDM nur einige Zehntel-Millimeter (mm) groß, um so eine ausreichende Druckauflösung zu erzielen. Die gängigen Durchmesser haben eine Größe von 0,5 bis 0,3 mm.



Die Steuerungskomponenten für den Prusa i3 sind das Arduino Mega (Clone), vier Schrittmotorentreiber und das RAMPS 1.4. Board (von unten nach oben). Hersteller der Komponenten ist die Firma Sainsmart

Neben der entsprechenden beheizten Düse, die auch Hot-End genannt wird, ist noch ein dreidimensionales Positionierungssystem für die Düse und eine Dosiervorrichtung für den Kunststoff, Extruder genannt, notwendig. 3D-Drucker, die nach diesem Verfahren arbeiten, haben meist neben dem Extruder mit Hotend und computergesteuerter Materialzuführung, als Hauptbestandteile drei Linearachsen für die X-, Y-, und Z-Positionierung, die über entsprechende Schrittmotoren angesteuert werden. Je nach Bauausführung des Druckers werden unterschiedliche Teile bewegt. Gängig sind Drucker, bei denen der Druckkopf (Hotend und Extruder) in einer oder zwei Achsen bewegt

werden, das Druckbett positioniert sich dann entsprechend in der dritten Achse.

Arduino

Bei der Druckerelektronik hat sich die Arduino-Plattform durchgesetzt. Vorteil sind hier ganz klar die große Anwender-Community und die Möglichkeit, Erweiterungen und Änderungen in der Firmware selbst vornehmen zu können. Eine wesentliche Herausforderung bei vielen 3D-Druckverfahren ist die Befestigung des Druckobjekts, um eine präzise Positionierung zu erreichen. Im FDM-Verfahren hat sich dazu das beheizte Druckbett als Quasi-Standard etabliert, denn ein Klemmen oder Schrauben ist verfahrensbedingt nicht möglich. Dieses erwärmt den Kunststoff, sodass dieser leicht klebrig bleibt und gut an der Oberfläche des Druckbetts haftet. Dadurch kann das Druckobjekt nicht verrutschen. Mit Beendigung des Drucks wird auch das Heizbett abgeschaltet und das Druckteil kann nach dem Erkalten des Druckbetts problemlos aus dem Drucker entnommen werden.

Das Material: beim FDM-Verfahren werden in der Hauptsache formstabile Kunststoffe wie Polyactide (PLA) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) in Form von Kunststoff-Draht in den Durchmessern 1,75 oder 3 mm eingesetzt. Das Druck-Material wird auf Rollen aufgewickelt geliefert – gängige Mengen sind 750 Gramm oder 2 Kilogramm. Neben hartem PLA und ABS gibt es auch Kunststoffe, die gummiartig sind und so zum Beispiel gut für den Druck von Reifen oder Dämpfern eingesetzt werden können.

Stereolithographie (SLA)

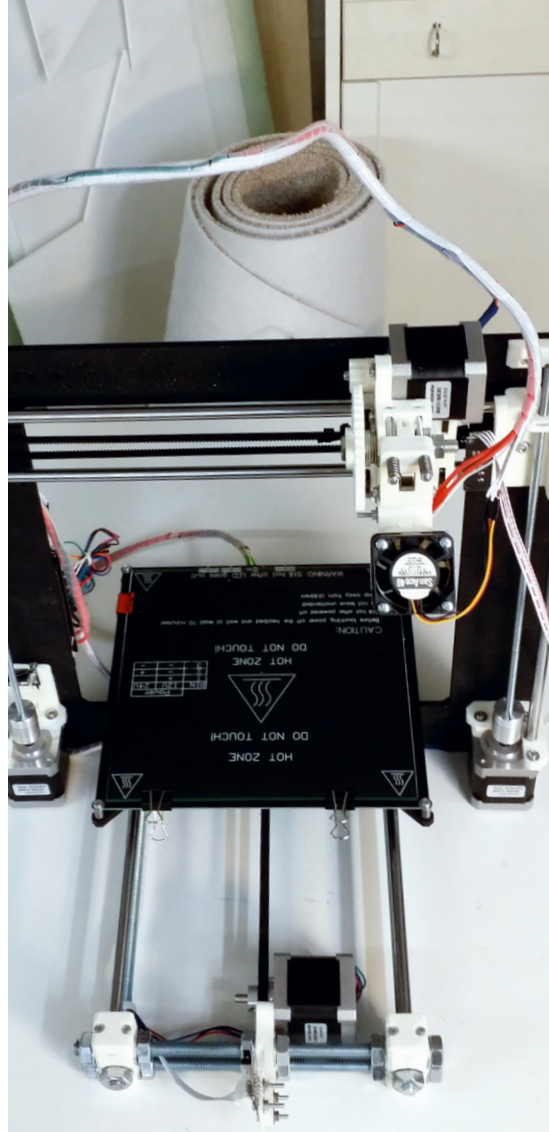
SLA gilt als das älteste 3D-Druckverfahren und wurde Ende der 1980er patentiert. Da der Patentschutz ausgelaufen ist, kommen nun auch

für den Heimbereich Drucker auf den Markt, die dieses Verfahren nutzen. Für zirka 2.800,- Euro bekommt man heute die ersten einsatzbereiten Maschinen, wie zum Beispiel den Form1-Drucker von Formlabs. Anstelle eines Kunststoffdrahts, wie er im FDM-Verfahren als Verbrauchsmaterial eingesetzt wird, kommt bei der Stereolithographie flüssiges Harz zum Einsatz, welches durch UV-Strahlung aushärtet.

Das Verfahren: in einem Becken befindet sich das flüssige Epoxyd-Harz. Hier ist zudem die Bauplattform (analog zum FDM-Verfahren das Druckbett) versenkt. Ein über dem Becken befindlicher Laserstrahl durchdringt die dünne Harzschicht über der Bauplattform und zeichnet die erste Druckschicht nach. Durch das Laserlicht härtet das UV-empfindliche Harz aus. Ist eine Schicht vollendet, senkt sich die Bauplattform um eine Schichtstärke ab. Ein Mechanismus verteilt die neue Schicht Harz gleichmäßig über der bereits gedruckten Schicht. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis das Modell fertig gedruckt ist. Alternativ zum Laser, der ein mechanisch anspruchsvolles Spiegelsystem benötigt, gibt es noch eine zweite Variante der Belichtung: eine UV-Lampe. In der Praxis wird zur Belichtung bei den 3D-Druckern für den Heimbereich ein Computer-Beamer eingesetzt, der eine Belichtungsmaske wiedergibt. Damit kann in einem Arbeitsschritt eine komplette Druckschicht belichtet werden.

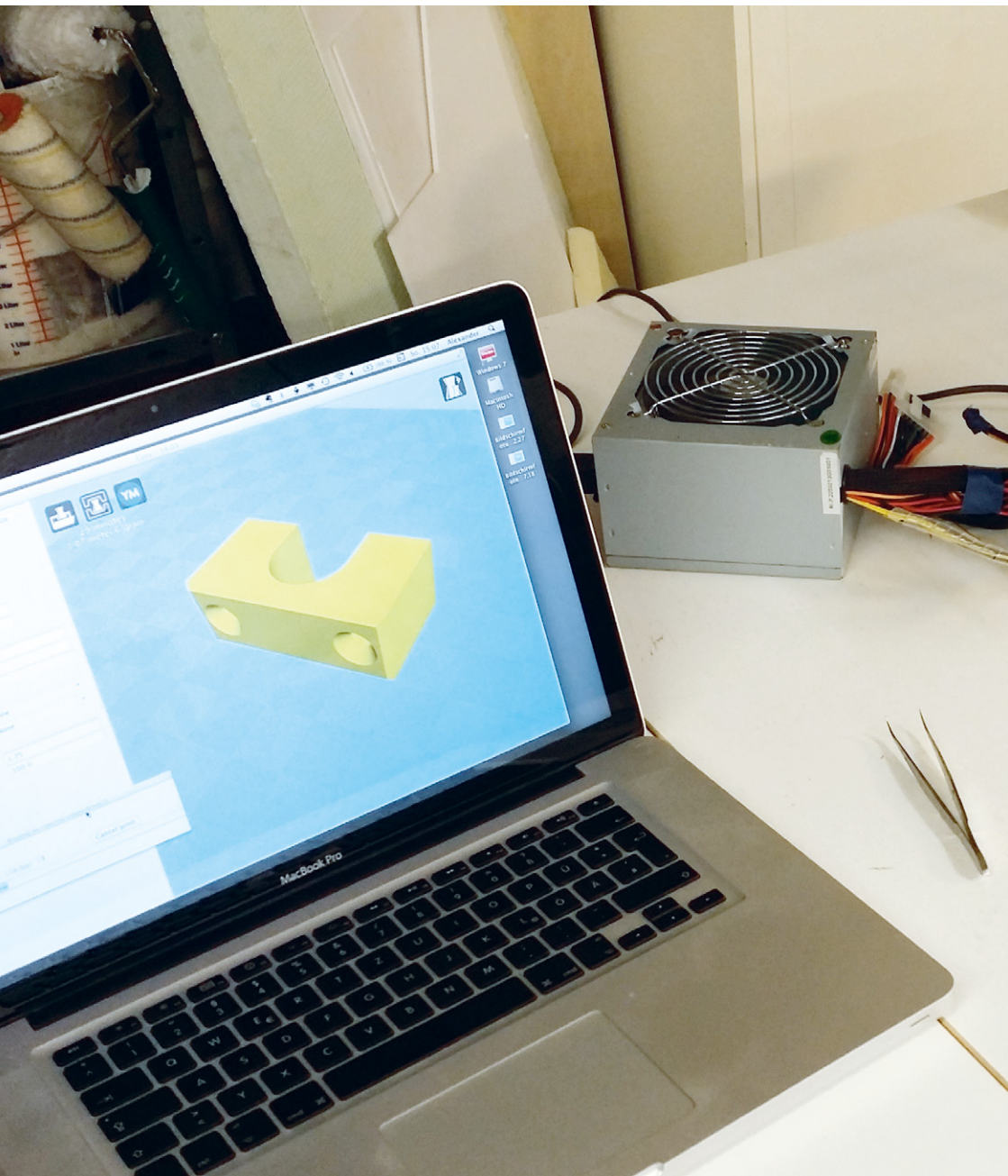
Kostspielig

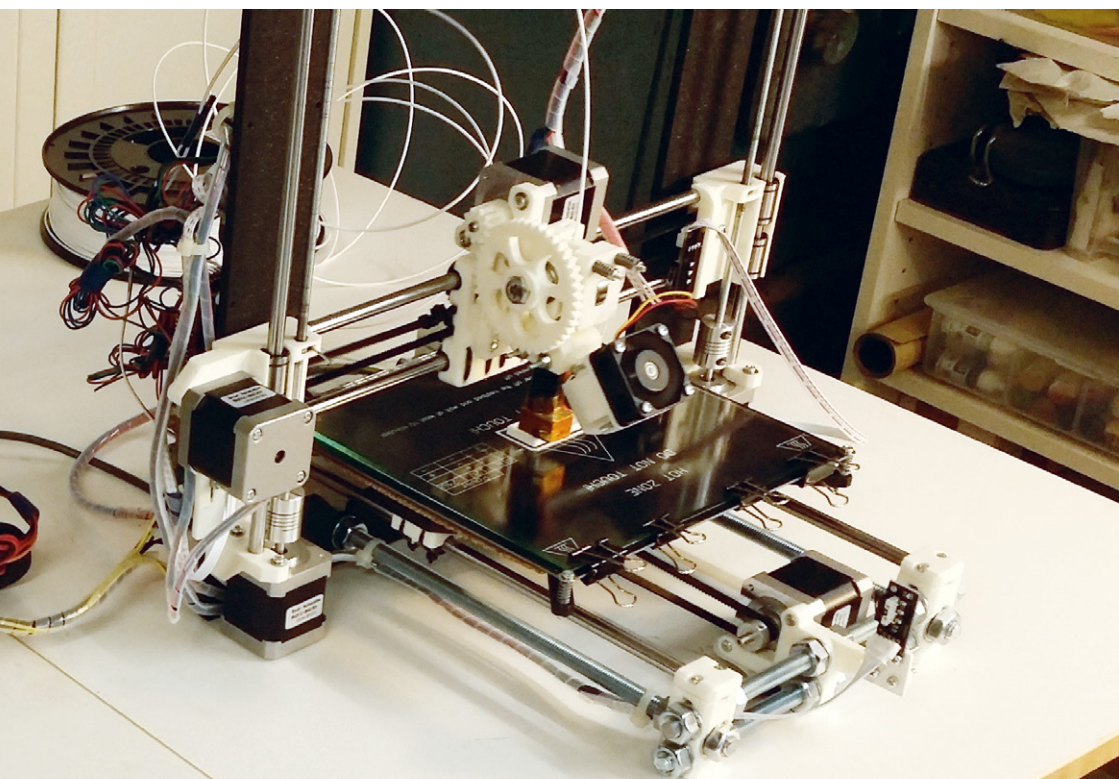
Das Material: durch die erwähnten SLA-Drucker für den Heimbereich und die verhältnismäßig günstigen Anschaffungspreise geraten auch die Kosten für das Material unter Druck. Zurzeit sind noch doppelt bis vierfach höhere Kilopreise als für FDM-Material zu entrichten. Zudem muss



Der RepRap Prusa i3 gehört zur neuen Generation der 3D-Drucker

man bedenken, dass Harz, welches nach dem Druck übrigbleibt, nur zum Teil oder überhaupt nicht wiederverwendet werden kann – somit liegen die Druckkosten über den Materialkosten für das Druckobjekt. Und zu guter Letzt ist bei den zu verwendenden Harzen kaum etwas über die Umweltverträglichkeit bekannt.

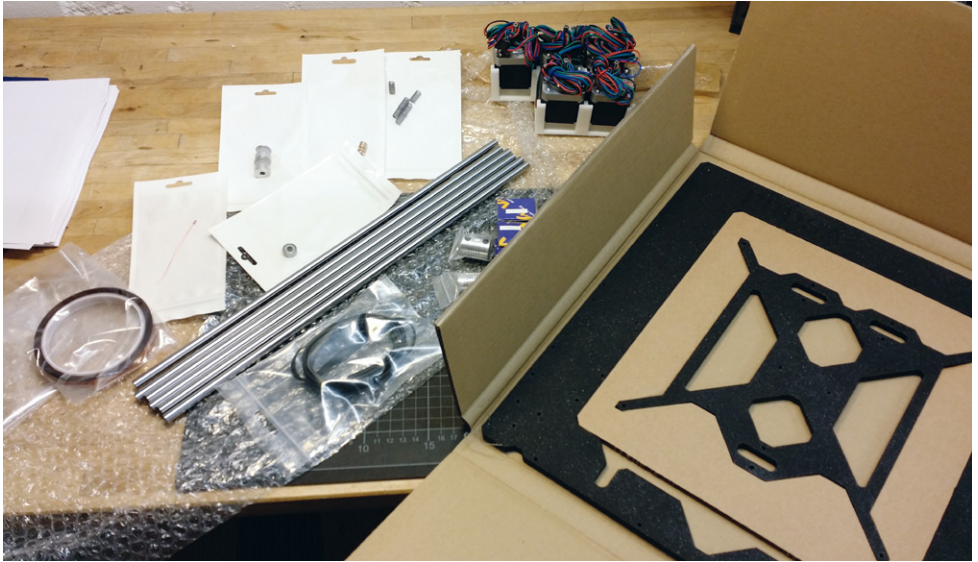




Printed Reality

Montage des RepRap Prusa i3 Rework

Ein 3D-Drucker kann für Funktionsmodellbauer ein hilfreiches Werkzeug sein, um bisher manuell umständlich zu erstellende Bauteile verhältnismäßig einfach zu erzeugen. Auch Bauteilvarianten oder Reihen lassen sich damit gut produzieren – sofern man entsprechende 3D-Daten der Bauteile hat. Auf der Suche nach einem entsprechenden Gerät findet man den RepRap Prusa i3 Rework des gleichnamigen internationalen Open-Source-Projekts.



Normteile und der vorgefertigte Rahmen kommen vom Online-Fachhändler

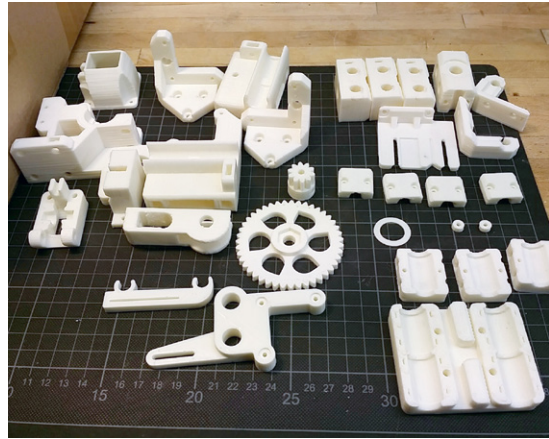
Die Wege zum eigenen 3D-Drucker können heute ganz unterschiedlich aussehen. Ob ein Fertigerät, Bausatz oder die in Eigenregie zusammengestellten Bauteile, am Ende soll eine funktionierende Maschine stehen. Die Entscheidung, wie man zum Drucker kommt, ist oft ganz praktischer, zeitlicher und sicherlich auch monetärer Natur. Hat man das technische Knowhow, die Werkzeuge und auch die Zeit, dann kann der Selbstbau eines solchen Geräts eine faszinierende Möglichkeit sein, sich mit der Technik etwas intensiver auseinander zu setzen. Zudem sind beim Selbstbau die Kosten oft erheblich geringer als bei einem Fertigerät, das jedoch wiederum quasi gleich aus dem Karton heraus startklar ist.

Eigenbau

Der Grund, einen 3D-Drucker, der nach dem sogenannten FDM-Prinzip arbeitet selbst zu bauen, ist sicherlich eine Mischung aus Neugierde, dem Unwillen viel Geld ausgeben zu müssen und

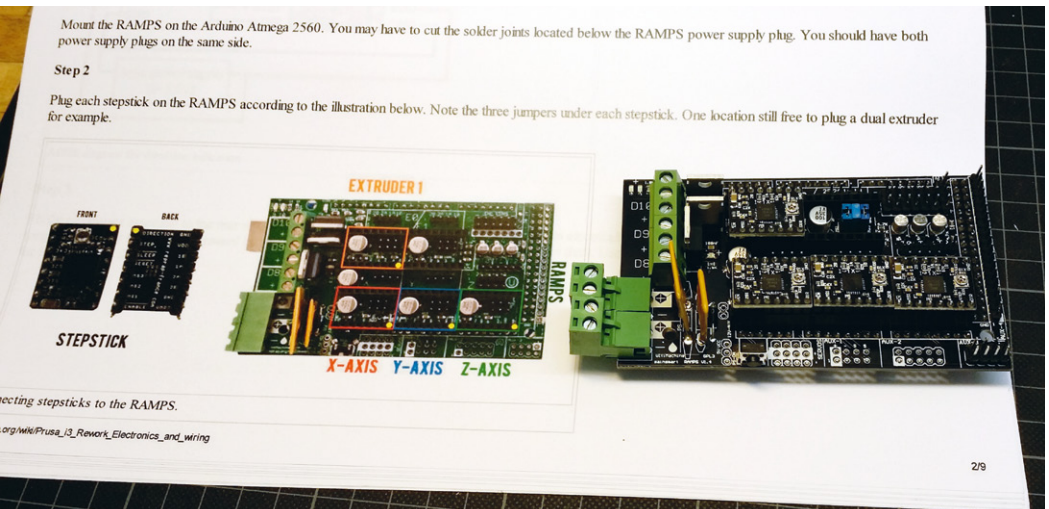
der Einstellung, sich die Zeit für die Auseinandersetzung mit der Technik nehmen zu wollen. Ein solches Projekt kann man zwar schon seit einigen Jahren umsetzen, doch so recht konnten die damals aufkommenden Maschinen für den Heimgebrauch nicht überzeugen. Die Technik erschien noch in einem eher experimentellen Stadium. Doch eines Tages tauchte eine Möglichkeit auf, für die finanziell und zeitlich notwendige Investition in solch einen 3D-Drucker-Selbstbau-Projekt auch eine praktisch brauchbare Maschine zu bekommen. Diese basiert auf dem Ursprungs-3D-Drucker-Projekt RepRap. Die neueste Maschinen-Generation, der Prusa i3 Rework (i3 steht für Iteration 3), konnte unter den genannten Aspekten überzeugen. Und dabei wussten nicht nur die übersichtliche Grundkonstruktion und die überwiegend verwendeten Standard-Komponenten zu gefallen, auch die im Internet veröffentlichten Erfahrungsberichte und Beschreibungen zur Maschine machten Mut.

Der Bau einer Maschine ist per se ein Vorhaben, das mit einer gewissen Vorplanung angegangen werden sollte. Dabei steht die Informationsbeschaffung am Anfang, das heißt, man sollte relativ genau wissen, wie die Maschine aufgebaut, montiert und eingestellt werden muss. Weiter geht es mit der Klärung, wo die Teile zu beschaffen sind und endet mit der Zusammenstellung der Kosten. Zwischendurch wird dann noch eruiert, ob auch alle nötigen Werkzeuge in der heimischen Bastelkammer vorhanden sind. Eines vorweg: Die notwendigen Werkzeuge wie Schraubendreher- und -schlüssel, Metallsäge, Feilen, Messschieber, Lineal, Lötkolben, Dremel und Zangen sollten eigentlich in einer gut sortieren Hobbywerkstatt vorhanden sein. Das Tolle an dem RepRap-Projekt ist, dass quasi alle im Rahmen dieses Projekts entstandenen Maschinen Open Source und zentral auf der Website des Projekts dokumentiert sind. Die Offenheit der RepRap-Maschinen hat zudem den Vorteil, dass die weltweit vernetzte Community mehr oder weniger permanent an Verbesse-



Der Komplettsatz gedruckter Fertigteile

rungen arbeitet und diese auch dokumentiert. Großartig ist ferner der hohe Grad an kommunikativem Austausch und Hilfsbereitschaft innerhalb der RepRap-Gemeinde – oft zentral über das angegliederte RepRap-Forum erreichbar. Argumente, die letztlich für den Bau eines solchen Druckers sprachen.



Dank der guten Dokumentation ist auch die Verkabelung der Elektronik einfach



Die unterschiedlichen Druckmaterialien werden auch Filament genannt. Von links nach rechts sieht man PLA, ABS und Nylon

TEILELISTE

Bauteile und Druck-Material

GLI Concept GmbH, Tel.: 015 78/283 13 76

E-Mail: info@gli-concept.de

Internet: www.reprapsource.com

Steuerungselektronik

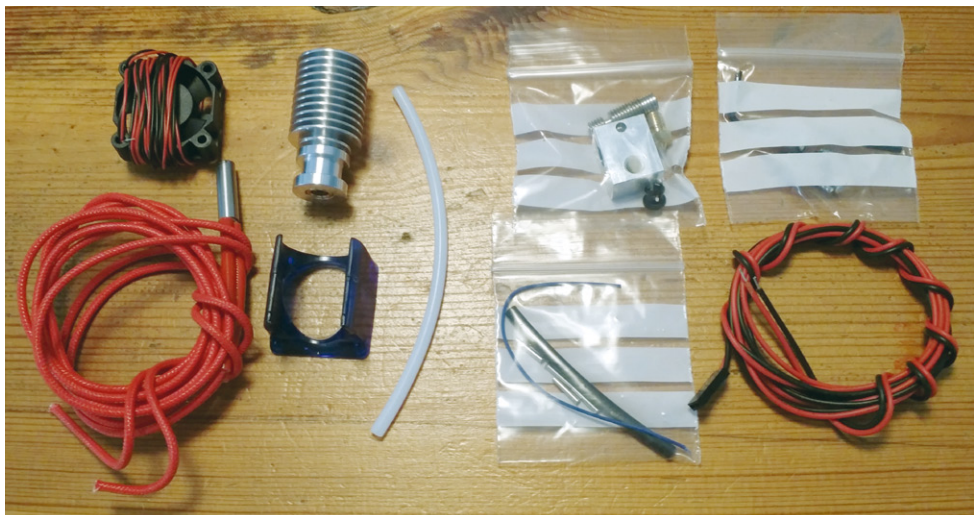
Sainsmart RepRap 3D-Printer-Kit

Sain.de, Internet: www.sainstore.de

Hotend E3D v6

E3D Online, Tel.: 00 44/18 65/89 05 41

Internet: www.e3d-online.com



Ein unerlässliches Upgrade ist das Ganzmetall-Hotend, hier das viel gelobte E3D vor der Montage

Material

Für den Bau des Prusa i3 kommen folgende Komponenten zum Einsatz: Fertigteile, Normteile, Elektronik und der Druckwerkstoff. Bei den Fertigteilen ist ein gedruckter Bauteilesatz für den Prusa i3 Rework der Ausgangspunkt. Diese Bauteile kann man in einschlägigen Onlineshops beschaffen – dazu reicht als Suchbegriff „RepRap

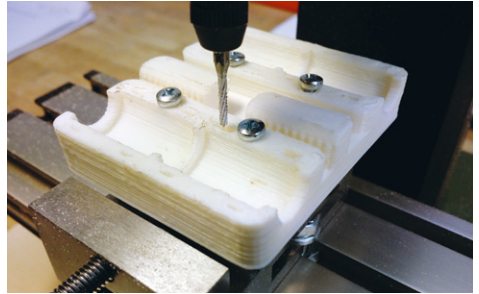
Prusa i3“ schon völlig aus. Der Prusa i3-Teilesatz aus ABS ist bereits für 25,- Euro erhältlich. Wichtig ist jedoch, dass die gedruckten Teile aus ABS sind und nicht aus dem niedriger schmelzenden PLA. Dies ist besonders für die Bauteile des Extruders zu beherrzigen, da dort auch das sogenannte Hotend, also das Bauteil, das den Kunststoff aufschmilzt, montiert ist. Gerade



Die gedruckten Fertigteile müssen unbedingt nachgearbeitet werden

dort sollte eine temperaturbedingte Beeinträchtigung der Bauteile vermieden werden. Bei www.reprapsource.com, einem auf 3D-Drucker und Teile spezialisierten Online-Shop, gibt es den gefrästen Aluminium-Rahmen inklusive Heizbett-Halterung. Diese Teile kosteten knapp 80,- Euro. Eine Glasplatte für das spätere Druckbett erhält man bei einer Glaserei in der Nähe.

Die Steuerung für den Prusa i3 bestellte ich als Komplett-Paket (RepRap 3D-Printer-Kit) des chinesischen Herstellers Sainsmart im Onlinehandel. Das Gute daran: Alle Bauteile sind in der EU zugelassen und man hat Hersteller-Garantie, ein Punkt der wichtig ist – dazu aber später mehr. In dem Komplettpaket bekommt man einen ArduinoMega Clone, ein sogenanntes Ramps 1.4.-Board für die Aufnahme der Motortreiber,



Die Halterung für die Kugellager musste etwas nachgefräst werden

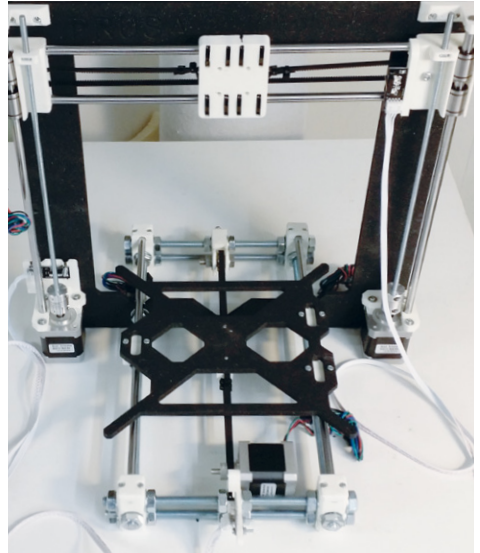
die Motortreiber selbst, Achsenschafter mit Kabeln, Heizbett, Lüfter und ein LCD-Controller-board mit SD-Karten-Reader. Dieses RepRap 3D-Printer-Kit schlug mit etwa 130,- Euro zu Buche. Als Hotend diente zunächst ein günstiges Modell der Marke J-Head, mit dem PLA gedruckt werden kann. Es kostete bereits vormontiert inklusive Fracht knapp 20,- Euro. Zwischenzeitlich wird jedoch das viel gelobte Hotend E3Dv6 (Full Kit) der Firma E3D verwendet. Mit der zirka 50,- Euro kostenden Ganzmetall-Heizdüse kann man nicht nur PLA sondern auch



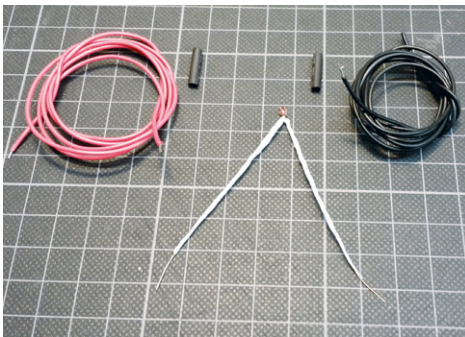
Mit dem Dremel-Trennschleifer wurden die Führungsstangen zugeschnitten



Zutaten für den Rahmen: Muttern, U-Scheiben, Gewindestangen und gedruckte Fertigteile



Ein Meilenstein ist erreicht: Die Mechanik steht



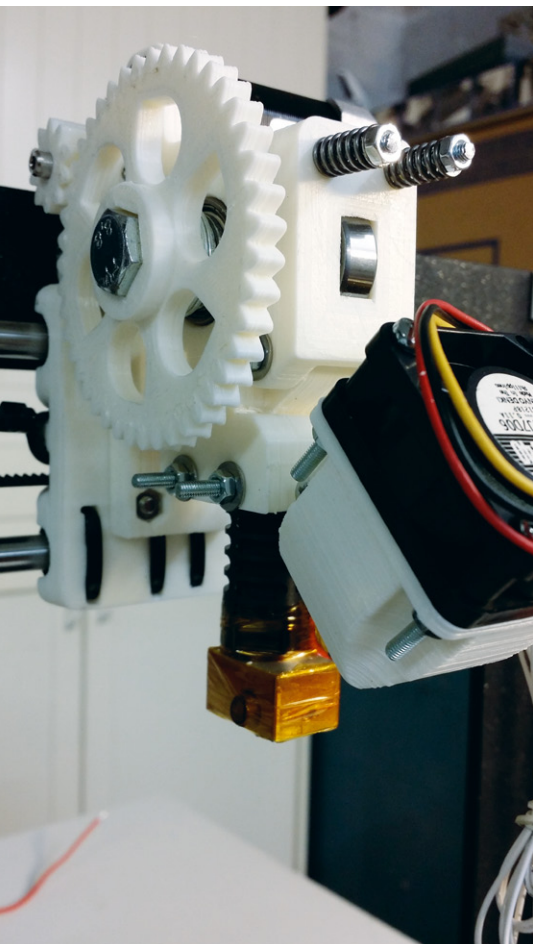
Konfektionierung: Die Kabel müssen am Thermistor selbst verlötet werden

die höher schmelzenden Kunststoffe ABS und Nylon drucken. Mit dem J-Head waren die dafür notwendigen Temperaturen nicht erreichbar. Die Nema-17-Schrittmotoren und Temperatursensoren für das Heizbett stammen ebenfalls aus dem Sortiment von reprintsource.com.

Kabel, Schrumpfschläuche und Kabelspiralen kommen vom Elektronikversand Reichelt. Was die Normteile und Halbzeuge angeht, so wurde die Beschaffung in Baumarkt und reprintsource aufgesplittet. Gewindestangen, Schrauben, U-Scheiben sind vom lokalen Baumarkt. Die übrigen Teile, wie gehärtete Führungsstangen, Zahnriemen, Wellenkupplungen, Kugellager und Riemenscheiben kommen vom Online-Fachhändler, genau wie auch die Druckwerkstoffe PLA, ABS und Nylon.

Bau des Prusa i3

Eines sei vorausgeschickt: Insgesamt hat der Bau des Druckers inklusive Fehlerbehebung und den nötigen Einstellarbeiten netto etwa 50 Stunden in Anspruch genommen. Die Montage lässt sich anhand der bebilderten Aufbauanleitung, die man bei reprintsource.com findet, allerdings gut



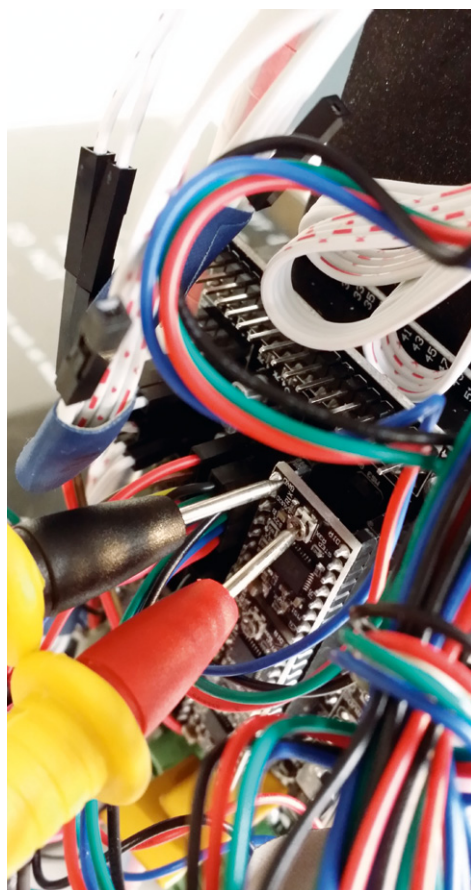
Der komplette Extruder mit Hotend wurde am Drucker montiert. Im Vordergrund ist der Lüfter zu erkennen

bewältigen. Der Übersichtlichkeit halber ist der Aufbau hier in fünf Phasen dargestellt, auf die im Folgenden schrittweise eingegangen wird. Grundsätzlich müssen alle gedruckten Fertigteile entgratet und aufgebohrt werden. Bei einigen Teilen muss man zudem zur Feile und sogar zur Fräse greifen, da einige wenige Komponenten nicht passgenau gedruckt werden.

Grundgerüst

Beim Blick auf den RepRap Prusa i3 kann man sofort erkennen, dass der untere Teil der Maschine im Wesentlichen aus M10-Gewindestangen, den gedruckten Eckteilen und zwei geschliffenen Führungsstangen von 8 Millimeter (mm) besteht. Hinzu kommen noch der Motorhalter und der Riemenspanner, beide ebenfalls Druckteile. Zunächst werden die Gewindestangen auf die richtigen Längen gesägt. Jene für die Stirnseiten des Druckers werden mit dem Motorhalter beziehungsweise Riemenspanner bestückt und anschließend jede Stange mit Muttern und U-Scheiben konfektioniert. Die Geräteecken sind gedruckte Fertigteile, die an der Oberseite Aussparungen für die Montage-Führungsstangen haben. Beim Zusammenbau ist es wichtig, auf eine möglichst genaue Ausrichtung der Teile zueinander zu achten. Gegebenenfalls muss man an den Eckteilen mit der Feile nachhelfen, um einen waagerechten Maschinensockel zu erhalten. Da die gehärteten Führungsstangen mit der Säge schlecht auf die notwendige Länge zu bringen sind, ist der Einsatz eines Trennschleifers angebracht. Bevor die Führungsstangen auf dem Grundgestell verschraubt werden, muss der Heizbett-Träger mit den drei Kugellagern bestückt werden. Diese werden in gedruckte Lagerbetten gepresst und mit Kabelbindern darin fixiert. Leider musste ich meine gedruckten Teile mit der Fräse nacharbeiten, da die Durchbrüche für die Kabelbinder hoffnungslos zu klein waren. Anschließend verschraubt man diese Baugruppen mit dem vorgefertigten Alu-Träger. Ebenfalls am Heizbett-Träger wird mittig die Antriebsriemenbefestigung verschraubt.

Sind diese Arbeiten erledigt, werden die Führungsstangen mit dem Heizbett-Träger verbunden und die Führungen an den Eckteilen befestigt. Der letzte Schritt in dieser Bauphase ist



Die Fehlersuche an der Elektronik beginnt

die Montage des Alu-Rahmens für die Z-Achse. Dieser wird einfach mit M10-Muttern verschraubt. Die X-Achse besteht aus zwei gedruckten Kunststoffteilen, in denen die Führungskugellager sitzen und der Schrittmotor für die X-Achse befestigt ist. Die beiden 8-mm-Führungsstangen werden ebenfalls mit dem Trennschneider auf Länge gebracht. Bei der Montage der Rundmaterialien in den Kunststoffteilen muss unbedingt auf eine gute, enge Passung geachtet werden. Etwas Kederspray hilft bei der Montage.

Kraftübertragung

Die Kräfte der Schrittmotoren zur Bewegung der Achsen werden durch GT-2-Zahnriemen (X- und Y-Achse) und mittels M5-Gewindestangen übertragen. Beim Kauf der Gewindestangen muss unbedingt darauf geachtet werden, dass sie so gerade wie möglich sind, da man ansonsten im Druck später Unsauberkeiten in den Schichten bekommt, sollten die Stangen eiern. Nach Befestigung der Nema-17-Motoren an ihren Montageplätzen werden entsprechend Zahnriemenräder oder Wellenkupplungen angebracht. Die Zahnriemen bringt man dabei möglichst auf die nötige Länge und fixiert sie an den Klemmstellen mit Kabelbindern. Die Gewindestangen sind über die Wellenkupplungen so zu montieren, dass ein guter Rundlauf gewährleistet wird.

Warmes Bett

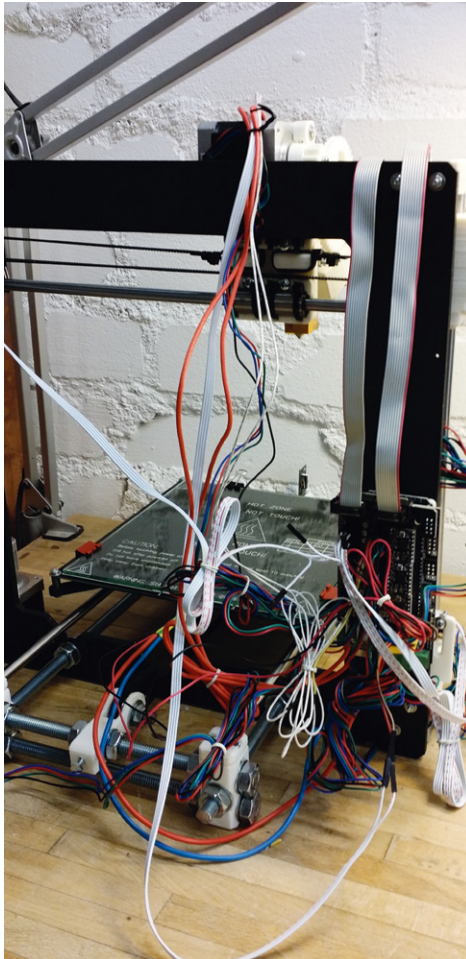
Das Heizbett ist eine große Verbundplatte mit eingearbeiteten Heizschleifen. Daran muss mittig ein Wärmefühler zur Steuerungskontrolle angebracht werden. Nach Konfektionierung des sogenannten Thermistors wird dieser von unten mit temperaturbeständigem Klebeband fixiert. Anschließend montiert man das Heizbett auf den Schlitten. Dabei sollten an den Montage-



Die Druckfeder der Heizbettbefestigung ist für die Nivellierung wichtig

punkten unbedingt Druckfedern verwendet werden. Denn das Bett muss später penibel an den vier Punkten nivelliert werden.

Der Extruder ist eine Kombination aus Förder-einheit und Heizdüse. Er besteht aus gedruckten ABS-Teilen, einer gerändelten Förder-Schraube, einer Klemmeinrichtung, einem Schrittmotoren-Antrieb, der Lüftereinheit und dem Hotend. Die Montage dieser Baugruppe geht verhält-



nismäßig flott von der Hand. Beim Einsetzen des Hotends in den Extruderkörper ist auf eine lotgerechte Montage zu achten.

Elektronik

Die eingesetzte Elektronik ist übersichtlich. Auf das Ramps 1.4.-Board werden die vier nötigen Motortreiber gesteckt. Das Board selbst sitzt dann auf dem ArduinoMega. Als Spannungsquelle dient ein altes 400 Watt-PC-Netzteil, dieses ist für die Spannungsversorgung der Steuerung, des Heizbetts und des Hotends verantwortlich. Die Verkabelung ist, dank der tollen Dokumentation auf der RepRap-Seite, keine große Hürde. Wichtig ist lediglich, den Kabeln, die zu beweglichen Teilen führen, ausreichend Spielraum zu geben beziehungsweise die Kabelbäume so am Rahmen zu fixieren, dass sie nicht stören oder in beweglichen Teilen verklemmen.

Einstellung

Der mechanische Aufbau des Druckers ist ehrlich gesagt nur die halbe Miete. Zeitintensiv gestaltet sich die notwendige Steuerungskonfigurationsarbeit. Damit meine ich die Kalibrierung der Temperaturfühler an Heizbett und Hotend, die korrekte Ermittlung der Achsverfahrwege, die Nivellierung der Druckbetthöhe und die Justierung des Extruders. Alle einzelnen Arbeitsschritte hier zu erläutern würde den Rahmen des Artikels sprengen. Aber glücklicherweise sind diese sehr gut auf der bereits erwähnten RepRap-Seite dargestellt. Im Wesentlichen handelt es bei den meisten Einstellarbeiten um ein sich wiederholendes Vorgehen, bestehend aus messen, Firmware einstellen, wieder messen, wieder Firmware einstellen und so weiter. Dabei teilt

Kabelsalat: Noch ist es nur die Testverkabelung. Später wird alles ordentlich sortiert

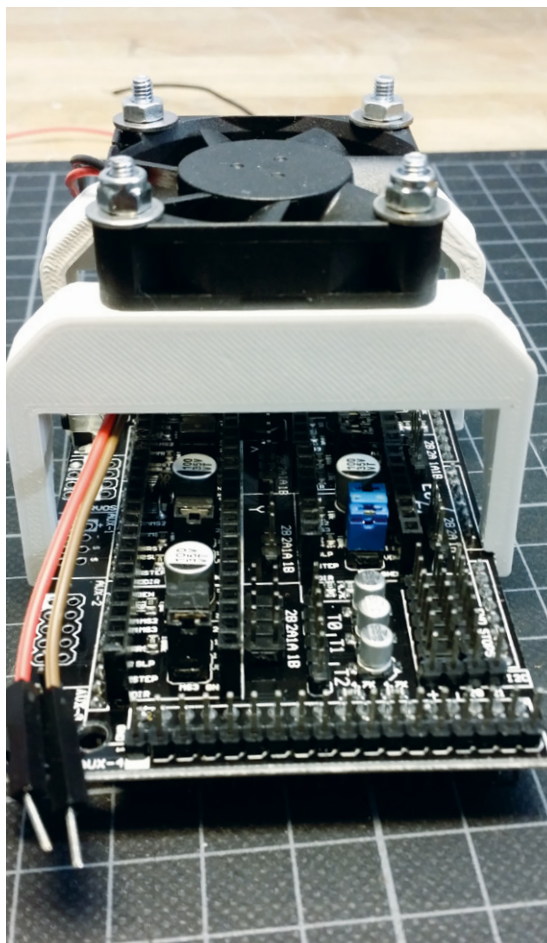
man der Steuerungsfirmware namens Marlin entsprechende Einstellungswerte mit, damit zum Beispiel die Achsen korrekt angesteuert werden und die Steuerung die jeweils angeforderte Materialmenge bei eingestellter Aufschmelztemperatur liefert. Marlin ist ein Arduino-Programm und wird über die entsprechende freie Software konfiguriert und dann auf den Arduino-Mega hochgeladen. Für die Einstellarbeiten kann man ein Laptop via USB-Kabel an den Prusa i3 anschließen. Auf dem Rechner nutzt man dann beispielsweise die kostenlose Software Printron, um den Drucker direkt steuern zu können. Ferner die Arduino-Software, um sofort entsprechende Einstellungsveränderungen in der Marlin-Firmware vornehmen zu können.

Als Messmittel wurden in dieser Phase ein Messschieber, eine Mikrometerschraube, ein Infrarot-Thermometer und ein Digitalmultimeter eingesetzt. Letzteres war nur notwendig, da das Ramps-Board einen Lötfehler hatte, was sich erst im Rahmen der Einstellarbeiten durch eine fehlerhafte Achssteuerung zeigte. Erst nach aufwändigen Messungen an der Elektronik konnte der Fehler auf das Ramps-Board eingegrenzt werden. Nach Kontaktaufnahme mit dem Händler zu dem mangelhaften Board wurde aber anstandslos und sehr zügig ein Neues geliefert.

Test it Baby

Nach den Einstellarbeiten ging es an den ersten Testdruck. Gesteuert wurde der Testdruck direkt vom Laptop via Printron. Es gibt aber auch die Möglichkeit, den Drucker autonom zu steuern. In jedem Fall muss vor dem Druck zunächst eine geeignete STL-Datei her. Dazu kann man sich beim Portal thingiverse.com entsprechende Testkörper herunterladen. Denn alle Daten die

dort zur Verfügung gestellt werden, können Nutzer für nichtkommerzielle Projekte kostenfrei heruntergeladen. Im zweiten Schritt musste die STL-Datei mittels einer sogenannten Slicer-Software verarbeitet werden, um für den Drucker einen lesbaren G-Code zu erhalten. Dieser Berechnungsprozess – auch Slicing genannt – wurde erneut mit der ebenfalls kostenlosen Software Cura vorgenommen.



Upgrade: Eine gedruckte Halterung für die Lüftung der Motortreiber wurde angebaut

Druckkarte 3D-Druck

| | |
|--|-------------------|
| Zeilenumfang | |
| BTL-Datensätze | 2,0 mm B, 2,0 s K |
| Heizungsschichtweite/Verzerrung | C 5, A4, 0,3 |
| Bedingungslose line times | |
| Retraction/Speed (mm/s) | 0,3 |
| Retraction/Distance (mm) | 5,0 |
| Quality/Retract layer thickness (mm) | 4,5 |
| Quality/Cut off object bottom (mm) | 0,2 |
| Speed/Print speed (mm/s) | 2,0 |
| Speed/Bottom layer speed (mm/s) | 2,0 |
| Speed/Infill speed (mm/s) | 2,0 |
| Speed/Outer shell speed (mm/s) | 2,0 |
| Speed/Inner shell speed (mm/s) | 2,0 |
| Cool/Minimal layer time (sec) | 5 |
| Cool/Enable cooling fan (Y/N) | Y |
| Print Settings | |
| Support/Structure type | |
| Support/Overhang angle for sleep (°) | |
| Support/Fill amount (NK) | |
| Support/Fill distance XY (mm) | |
| Support/Distance Z (mm) | |
| Support/Sprinkle the outer cont. (Y/N) | |
| Print line amount | |
| Print line amount | |
| Line margin (mm) | |
| Line thickness (mm) | |
| Wide line width (mm) | |
| Surface thickness (mm) | |
| Surface line width (mm) | |
| Use/Comb. Every. (T, A) (Y/N) | |
| Use/Comb. Everything (T, B) | |
| Use/Keep open faces (Y/N) | |
| Use/Extensive stitching (Y/N) | |



Das entworfene Protokoll hilft bei der Dokumentation von Drucker-Einstellungen. Rechts im Bild ein Infrarot-Thermometer, mit dem sich insbesondere die Heizbett-Temperatur während des Druckvorgangs gut kontrollieren lässt

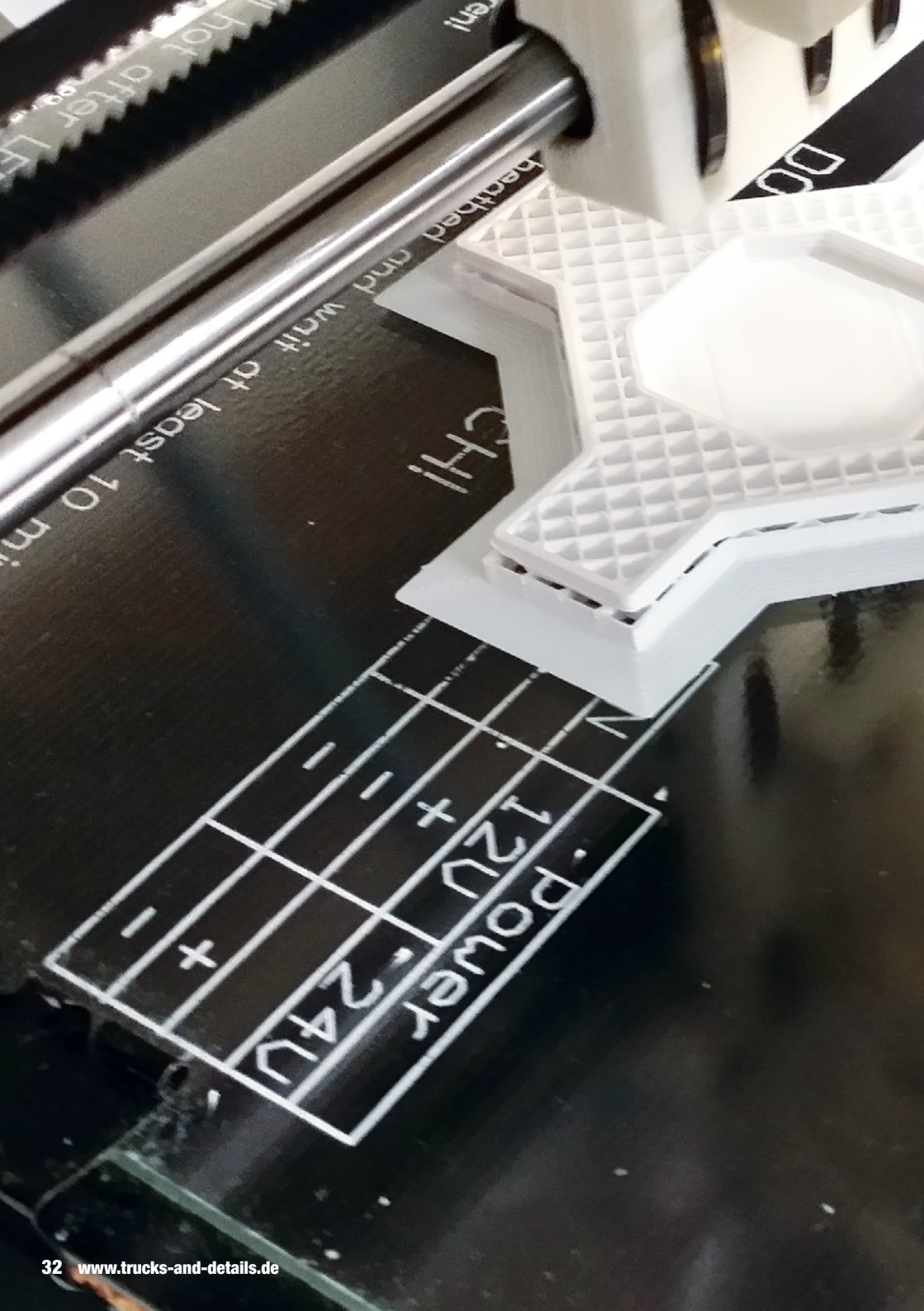
ergebnis vergleichen. Um es kurz zu machen: Das erste Werkstück sah dem Computermodell sehr ähnlich, die Abmessungen stimmten und auch die Oberfläche war besser als erwartet. Das machte Mut zu weiteren Drucken.

Verbesserungen

3D-Drucke können mitunter mehrere Stunden dauern. Da hat sicherlich keiner Lust, die gesamte Zeit über auf seinen PC zu verzichten oder den Drucker mit Filament zu füttern. Aus dem Grund sollte man sich ein Gehäuse für den LCD-Controller anfertigen, damit die Daten via SD-Card in den Drucker gelangen und der Laptop für andere Dinge verwendet werden kann. Auch die Filament-Rolle will niemand ständig drehen, um für einen störungsfreien Druck zu sorgen. Motortreiber werden bei stundelangem Betrieb warm – nicht immer gut für die Elektronik – also musste dafür auch eine Lösung her. Um den Drucker noch besser zu machen, kann man sich die entsprechenden Upgrade-Bauteile für den Prusa i3 selbst drucken. Die Druckdaten stehen wieder bei thingiverse bereit. So hat man in kurzer Zeit eine Versteifung für den Aluminium-Rahmen, einen Filament-Halter, ein LCD-Controller-Gehäuse, eine Lüfter-Halterung und einen Riemenspanner produziert, der den Zahnriemen der X-Achse spannen hilft.

Wäre es einfacher gewesen, sich einen vorkonfektionierten Bausatz oder ein Fertiggerät zu kaufen? Ja, sicher. Aber so würde man viel über seine eigene Maschine und den FDM-3D-Druck lernen.

Vor dem Druck muss der 3D-Drucker noch vorbereitet werden. Dazu sind die Führungen und die Gewindestangen leicht zu schmieren. Ein ganz wichtiger Vorbereitungsschritt ist das Präparieren des Druckbetts. Auf der Heizplatte wurde eine Glasplatte mittels Klammern befestigen. Darauf kommt ein leichter Film Haarspray, welches die Haftung der ersten Druckschichten erheblich verbessert. Bei Tests aller Art ist das Thema Dokumentation eine unheimliche Hilfe. Um die Einstellungen in der Slicing-Software und die übrigen Rahmenbedingungen für jeden Testdruck nachvollziehen zu können, sollte man ein Formular erstellen, in dem alle relevanten Parameter notiert werden. So kann man gut die Auswirkung von Einstellungen mit dem Druck-

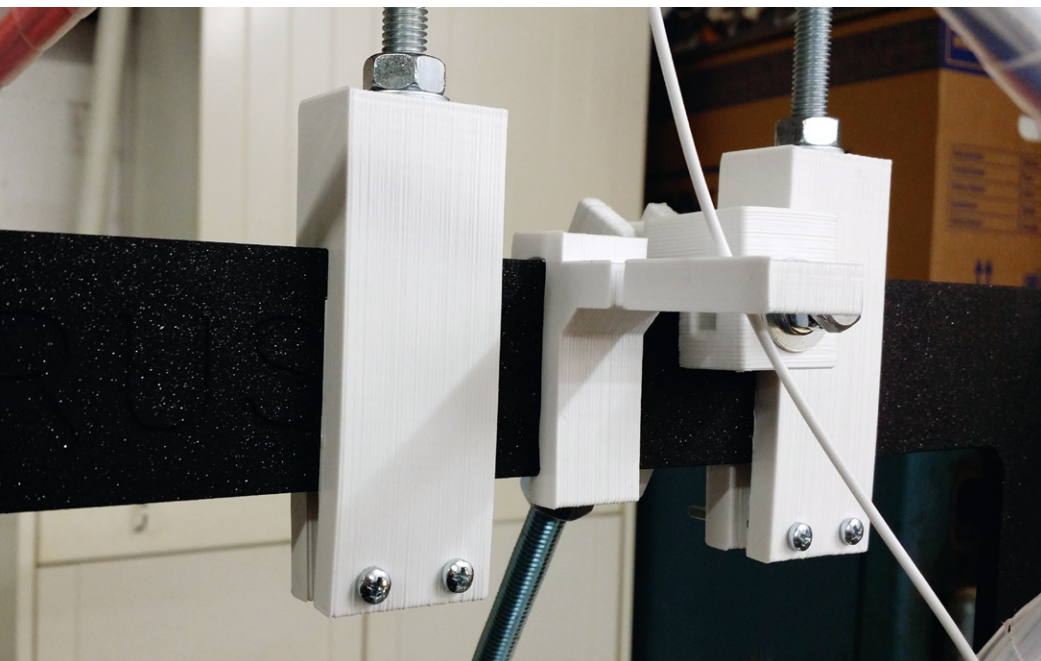




Entdeckungsreise

Erste praktische Schritte mit einem 3D-Drucker

Wenn man einen 3D-Drucker sein Eigen nennt, dann stellen sich einige Fragen: Ist mein Drucker optimal ausgerüstet? Was kann ich mit meinem 3D-Drucker im Modellbau praktisch anfangen? Wie gehe ich konkret bei der Erstellung eines gedruckten Bauteils vor? Wie muss ich den Drucker einstellen? Und wie kann ich meine Ausdrücke optimieren? Die aufgeworfenen Leitfragen sollen auf den folgenden Seiten beantwortet werden. Die genannte Vorgehensweise ist sicherlich nur eine Möglichkeit, sich der praktischen Nutzenanwendung eines FDM-3D-Druckers zu nähern. Doch mit ein wenig Eigeninitiative kann man darauf aufbauend auch eigene Wege finden.

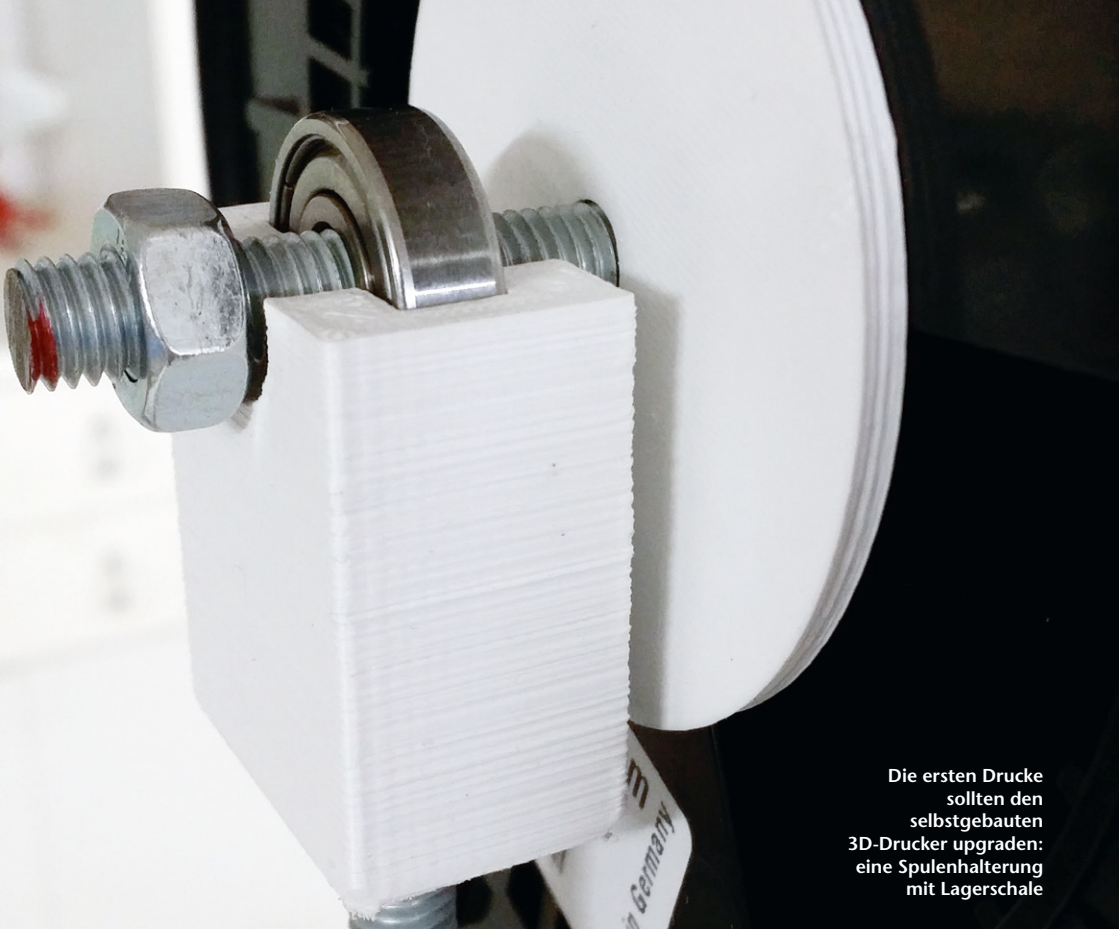


Per Befestigungsklemmen wird die Spulenhaltung am Druckerrahmen montiert

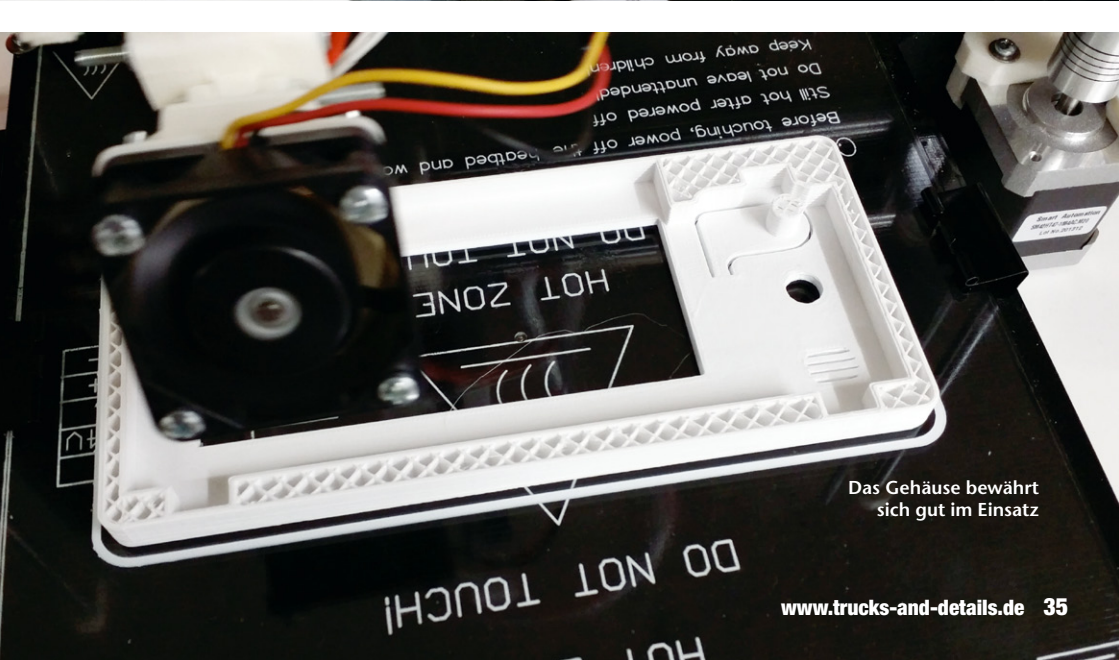
3D-Drucke können sehr lange dauern. Es ist zunächst ratsam, dass die Maschine mehr oder weniger autonom arbeiten kann. Daher ist sowohl eine problemlose Materialzuführung als auch eine computerunabhängige Steuerung etwas, das man der Maschine gönnen sollte. Beide Ausstattungsmerkmale hatte der Prusa i3 von Haus aus nicht. Aus dem Grund wurde beim Bauteileportal thingiverse eine Filament-Spulenhalter heruntergeladen und als eines der ersten Teile gedruckt. Für die autonome Steuerung ist für den eingesetzten Arduino-Controller ein LCD-Controller-Board mit SD-Karten-Slot geordert worden. Ein passendes Gehäuse gibt es ebenfalls bei thingiverse, welches auch auf dem 3D-Drucker angefertigt wurde. Mit diesen beiden Upgrades kann man den Prusa i3 mehr oder weniger unbeaufsichtigt drucken lassen.

Vorbereitungen

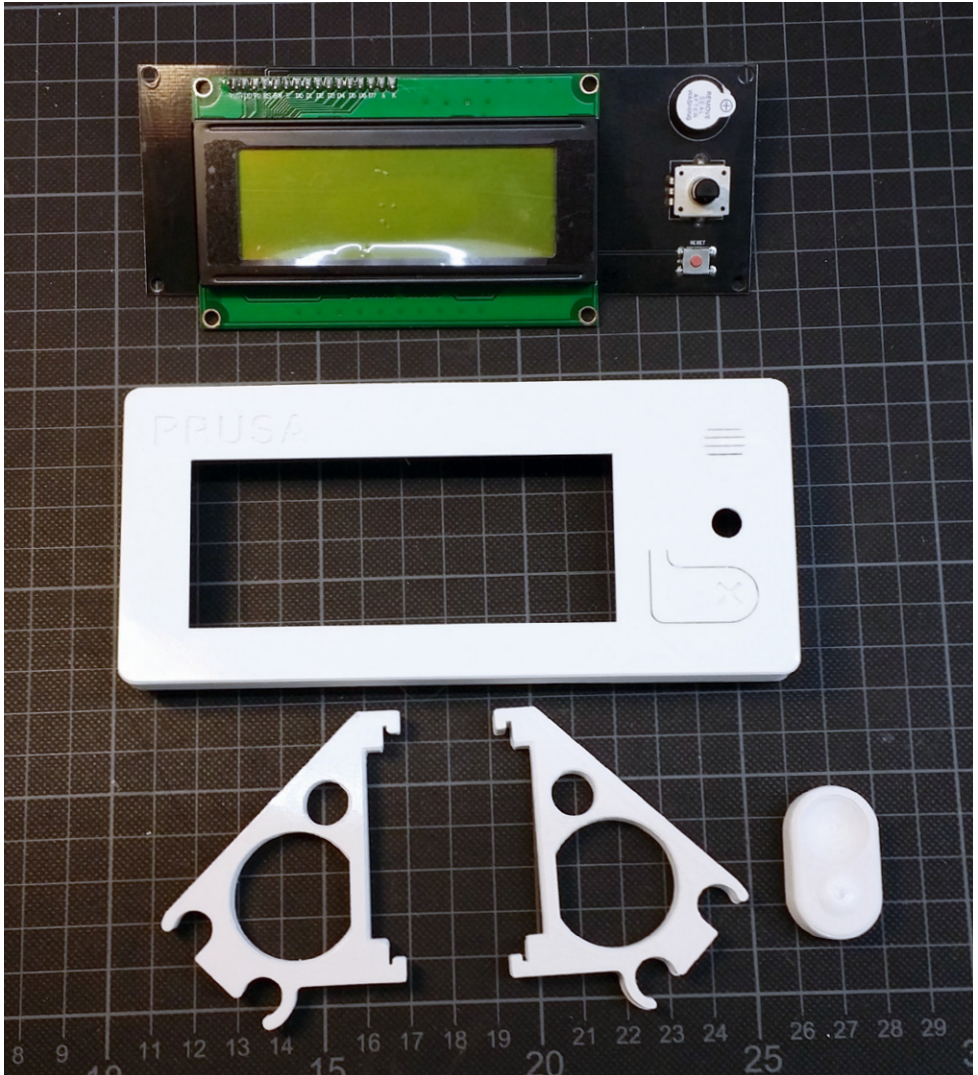
Beim FDM-Druckverfahren spielt das Heizbett eine wichtige Rolle, denn ohne die erwärmte Bauplattform halten die Werkstücke nur bedingt gut – dies gilt besonders für den Werkstoff ABS. Die in den Druckbetten eingesetzten Heizkörper strahlen aber konstruktionsbedingt nach oben und nach unten. Um die Abstrahlung nach unten zu verringern und die Wärme zur Glasplatte zu leiten und zu halten, wurde an der Unterseite des Heizelements eine 2 Millimeter (mm) dicke Korkmatte zur Isolierung angebracht. Das ist aus meiner Sicht ein günstiges und einfaches Upgrade, das seinen Zweck voll erfüllt. Doch der Drucker selbst ist quasi nur eine Seite der Medaille, die andere ist das sogenannte Slicing und die dabei zum Einsatz kommende Software. In der Slicing-Software werden alle für die Herstellung



Die ersten Drucke sollten den selbstgebauten 3D-Drucker upgraden: eine Spulhalterung mit Lagerschale



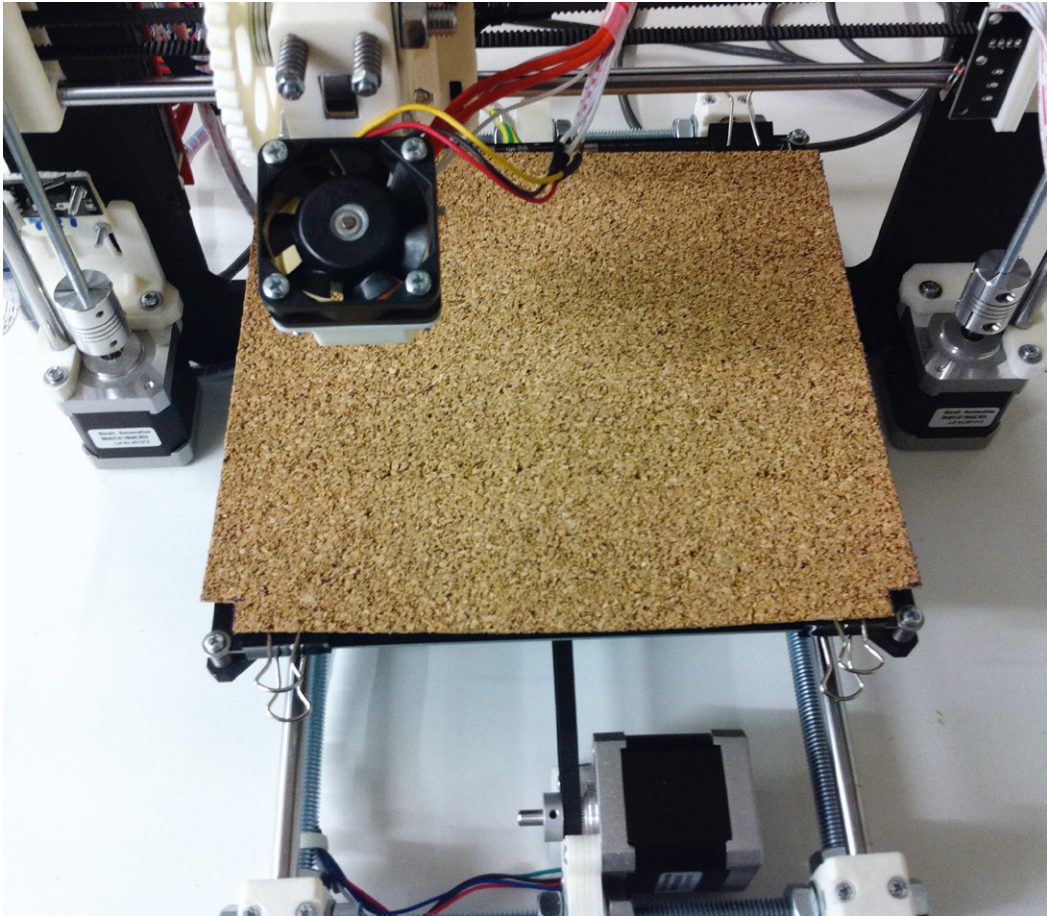
Das Gehäuse bewährt sich gut im Einsatz



Die selbstgedruckten Einzelteile für das Gehäuse des LCD-Controllers

des Druckteils relevanten Parameter definiert und das eingeladene Bauteil-Modell quasi in einzelne Schichten (Slices) zerlegt und der Steuerungscode (Gcode) für den 3D-Drucker erzeugt. Einstellungsparameter sind unter an-

derem Bauteil-Größe, Ausrichtung im Bauraum, die zu druckende Schichtdicke, die Druckgeschwindigkeiten und vieles mehr. Wenn man sich mit den am Markt verfügbaren Software-Paketen beschäftigt, landet man früher oder



Die Korkdichtung wird auf die Abmessungen der Druckfläche angepasst

später bei der kostenlosen Slicing-Software Cura von Druckerhersteller Ultimaker, die durch ihre Benutzeroberfläche und insbesondere Einstellungskomplexität überzeugt. Im Verlauf dieses Artikels werden zunächst die wichtigsten grundlegenden Einstellungsparameter in Cura-Version 14.7. erläutert und dann erklärt, wie bei der Herstellung eines Urmodells vorgegangen wird, welches zur Erstellung einer Silikon-Gussform erforderlich ist.

Einstellungssache

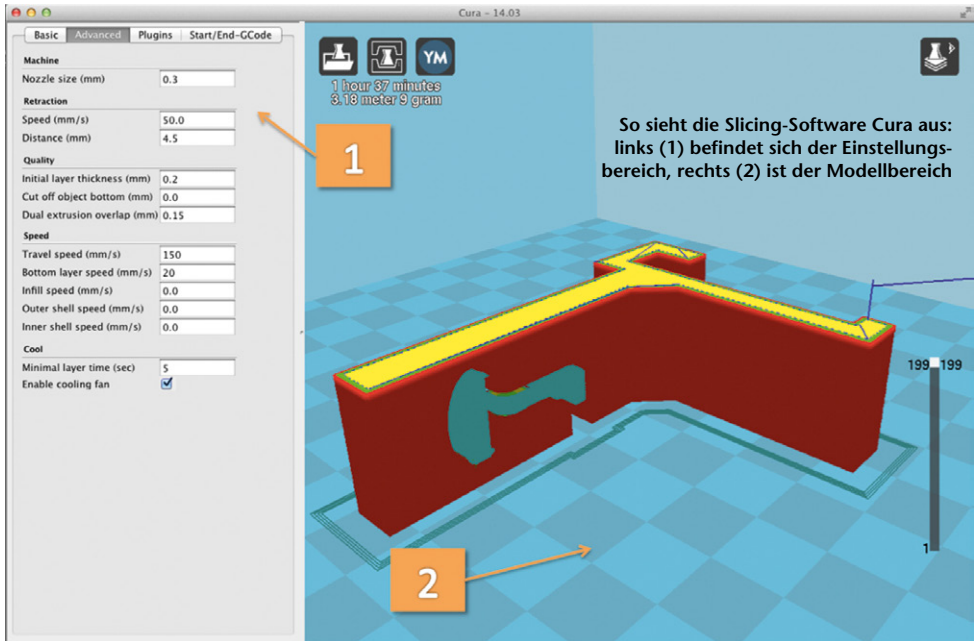
Grundlage für den 3D-Druck ist ein entsprechendes 3D-Modell im STL-Format. Entweder hat man das Bauteil selbst konstruiert und in dem entsprechenden Datei-Format abgespeichert oder aber eine Datei von einer der unterschiedlichen Bauteile-Plattformen im Internet heruntergeladen. Nach dem Start von Cura, welches es für Windows, Mac und Linux gibt, sollte man zunächst seinen Drucker in

| Basic Advanced Plugins Start/End-GCode | |
|--|-------------------------------------|
| Quality | |
| Layer height (mm) | 0.2 |
| Shell thickness (mm) | 0.9 |
| Enable retraction | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fill | |
| Bottom/Top thickness (mm) | 0.6 |
| Fill Density (%) | 20 |
| Speed and Temperature | |
| Print speed (mm/s) | 50 |
| Printing temperature (C) | 185 |
| Bed temperature (C) | 60 |
| Support | |
| Support type | Touching buildplate |
| Platform adhesion type | Brim |
| Filament | |
| Diameter (mm) | 1.74 |
| Flow (%) | 100.0 |

| Basic Advanced Plugins Start/End-GCode | |
|--|-------------------------------------|
| Machine | |
| Nozzle size (mm) | 0.3 |
| Retraction | |
| Speed (mm/s) | 50.0 |
| Distance (mm) | 4.5 |
| Quality | |
| Initial layer thickness (mm) | 0.2 |
| Initial layer line with (%) | 100 |
| Cut off object bottom (mm) | 0.0 |
| Dual extrusion overlap (mm) | 0.15 |
| Speed | |
| Travel speed (mm/s) | 150.0 |
| Bottom layer speed (mm/s) | 20 |
| Infill speed (mm/s) | 30.0 |
| Outer shell speed (mm/s) | 20.0 |
| Inner shell speed (mm/s) | 20.0 |
| Cool | |
| Minimal layer time (sec) | 5 |
| Enable cooling fan | <input checked="" type="checkbox"/> |

Die genauen Einstellungen ermöglichen einen präzisen Ausdruck. Die Tabs von links nach rechts zeigen Basis, Advanced und Expert in Cura Version 14.9

| Expert config | |
|--|-------------------------------------|
| Retraction | |
| Minimale Leerfahrt-Distanz (mm) | 1.5 |
| Löcher umfahren | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Minimaler Vorschub vor nächstem Rückzug (mm) | 0.02 |
| Z hop when retracting (mm) | 0.0 |
| Skirt | |
| Anzahl Linien | 4 |
| Start Distanz (mm) | 3.0 |
| Minimale Länge (mm) | 150.0 |
| Cool | |
| Fan full on at height (mm) | 0.5 |
| Lüfter Geschwindigkeit min (%) | 100 |
| Lüfter Geschwindigkeit max (%) | 100 |
| Minimale Geschwindigkeit (mm/s) | 10 |
| Druckkopf zum Kühlen anheben | <input type="checkbox"/> |
| Infill | |
| Oben geschlossen | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Unten geschlossen | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Füllung Überlappung (%) | 15 |
| Support | |
| Structure type | Grid |
| Overhang angle for support (deg) | 60 |
| Fülldichte (%) | 15 |
| Distanz X/Y (mm) | 0.7 |
| Distanz Z (mm) | 0.15 |
| Black Magic | |
| Spiralize the outer contour | <input type="checkbox"/> |
| Only follow mesh surface | <input type="checkbox"/> |
| Brim | |
| Anzahl Randlinien | 20 |
| Raft | |
| Zusätzlicher Rand (mm) | 5.0 |
| Linienabstand (mm) | 1.0 |
| Basisdicke (mm) | 0.3 |
| Breite Basislinien (mm) | 0.6 |
| Trennschicht Dicke (mm) | 0.2 |
| Trennschicht Linienbreite (mm) | 0.2 |
| Airgap | 0.22 |
| Surface layers | 2 |
| Fix horrible | |
| Kombiniere alles (Typ-A) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Kombiniere alles (Typ-B) | <input type="checkbox"/> |
| Erhalte offene Flächen | <input type="checkbox"/> |
| Umfassendes Schliessen | <input type="checkbox"/> |
| Ok | |



So sieht die Slicing-Software Cura aus: links (1) befindet sich der Einstellungsbereich, rechts (2) ist der Modellbereich

der Software konfigurieren. Dabei legt man die relevanten Rahmenparameter der Maschine fest. Dies sind zum Beispiel die Größe des Druckraums, der Port, an dem der Drucker am Rechner angeschlossen ist, welche Druckdüse mit welchem Filament-Durchmesser angeschlossen ist (1,75 oder 3 mm) und welcher Düsendurchmesser (zum Beispiel 0,3 mm) zum Einsatz kommt. Bei der Ersteinstellung führt ein Assistent durch die Software. Daher sollte man sich vorab die wichtigsten Geräte-Eckdaten notieren, dann geht alles zügig von der Hand. Sind die Grundeinstellungen gemacht, geht es an die einzelnen Druckparameter. Zwei von drei Eingabemaschinen finden sich auf der linken Hälfte der Bedienoberfläche. Dies sind die Reiter „Basic“ und „Advanced“. Zum dritten Einstellungsbereich, den sogenannten „Expert Settings“, gelangt man über das Menü „Expert > Open Expert Settings“.

An dieser Stelle kann nur auf die grundlegendsten Einstellungen in Cura eingegangen werden. Weitere Details kann man der Software-Anleitung entnehmen, denn eine ausführliche Erläuterung an dieser Stelle würde den Rahmen des Artikels sprengen.

Damit der Drucker genau berechnen kann, welche Materialmenge er an welcher Stelle genau aufschmelzen und durch die Druckdüse abgeben muss, sind drei Werte für die korrekte Berechnung nötig. Der erste Wert ist der Filament-Durchmesser. Normal sind Filamente mit 1,75 oder 3 mm Durchmesser. Diese Werte sind jedoch nur Nennwerte, denn der tatsächliche Materialdurchmesser weicht herstellungsbedingt davon ab – auch innerhalb einer hergestellten Spule. Aus dem Grund ist es wichtig, vorab einen Mittelwert des zum Einsatz kommenden Filaments anzugeben. Dazu

Oberflächen-Nachbehandlung von FDM-Druckteilen

Die Nachbearbeitung der Oberfläche von Bauteilen, die im FDM-Druck-Verfahren hergestellt wurden, ist aufwändig. Zwei Verfahren helfen, die Oberfläche von FDM-Druckteilen mit heimischen Hobbymitteln zu verbessern. Variante 1: Sandstrahlen der FDM-Bauteile mit Granatsand 0,1 bis 0,12 mm (Mesh 120): Mehr dazu findet sich auf der Seite www.instructables.com/id/3D-Print-Finishing-Technique-for-improved-Surface/ Variante 2: Die Bedampfung von ABS-Druckteilen mit Aceton und PLA-Teilen mit Tetrahydrofuran (THF): Diese beiden Verfahren sind jedoch mit Vorsicht zu genießen, da hier mit flüchtigen Chemikalien gearbeitet wird. Diese verdampfen zudem auch noch – also eigentlich ein Verfahren, welches nur an einem Ort stattfinden kann und sollte, der gut belüftet ist. Mehr zu dem Verfahren finden man zum Beispiel hier: www.sinkhacks.com/building-acetone-vapor-bath-smoothing-3d-printed-parts/

empfeht sich die punktuelle Messung des Durchmessers mit einer Messschraube an zirka fünf verschiedenen Stellen auf einer Materiallänge von 1 bis 2 Metern. Daraus ermittelt man dann einen Mittelwert. Der anschließend in das Eingabefeld „Filament Diameter“ eingetragen wird.

Druckkopf

Der zweite wichtige Wert ist der Düsendurchmesser (Nozzle size) des Druckers. Dieser Wert unterscheidet sich von Hersteller zu Hersteller. Der hier betrachtete Druckkopf hat einen Düsendurchmesser von 0,3 mm. Warum ist der Wert so wichtig? Die Öffnung definiert durch den Durchmesser die Extrusionsbreite des Druckers. Das heißt, dass der Drucker kein Material drucken kann, das schmäler als der Düsendurchmesser ist. Der dritte wichtige Wert für die Berechnung in der Software ist der sogenannte Flussfaktor (Flow factor). Dieser Wert legt eine prozentuale Abweichung der berechneten Materialabgabe gegenüber der tatsächlichen Men-

ge fest. Über den Flussfaktor kann die ausgegebene Menge Kunststoff nachjustiert werden. Dies kann gegebenenfalls nötig sein, wenn beim Druck zu viel oder zu wenig Material ausgegeben wird. Im vorliegenden Beispiel ist der Faktor auf 100 Prozent eingestellt. Mit welcher Temperatur gedruckt wird, ist eine Frage des Materials. In der Regel kann man PLA bei einer Druckdüsen-Temperatur (Printing temperatur) von 185 Grad Celsius (°C) optimal verarbeiten. Nähere Informationen zu Drucktemperaturen findet man bei den Herstellern der Kunststoffe. Erfahrungsgemäß sucht jeder für seinen Drucker in den möglichen Temperaturbereichen nach der optimalen Einstellung.

Ein zweiter Parameter ist die einzustellende Temperatur des Heizbetts (Bed temperatur). Für den Druck von PLA und die gewünschte Haftung des Bauteils wurde das Heizbett auf 60°C eingestellt. Angefangen wurde mit 55°C, wobei sich größere Bauteile insbesondere an den Kanten vom Druckbett abhoben. Die

RAD & KETTE

KENNELNERNEN FÜR 12,- EURO

Ihre Schnupper- Abo-Vorteile

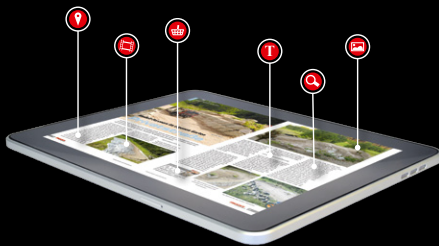
- ✓ 12,- Euro sparen
- ✓ Keine Ausgabe verpassen
- ✓ Versand direkt aus der Druckerei
- ✓ Jedes Heft im Umschlag pünktlich frei Haus
- ✓ Regelmäßig Vorzugsangebote für Sonderhefte und Bücher



2 für 1
Zwei Hefte zum Preis von einem

Jetzt zum Reinschnuppern

Im Internet: www.rad-und-kette.de
oder telefonisch unter: 040/42 91 77-110



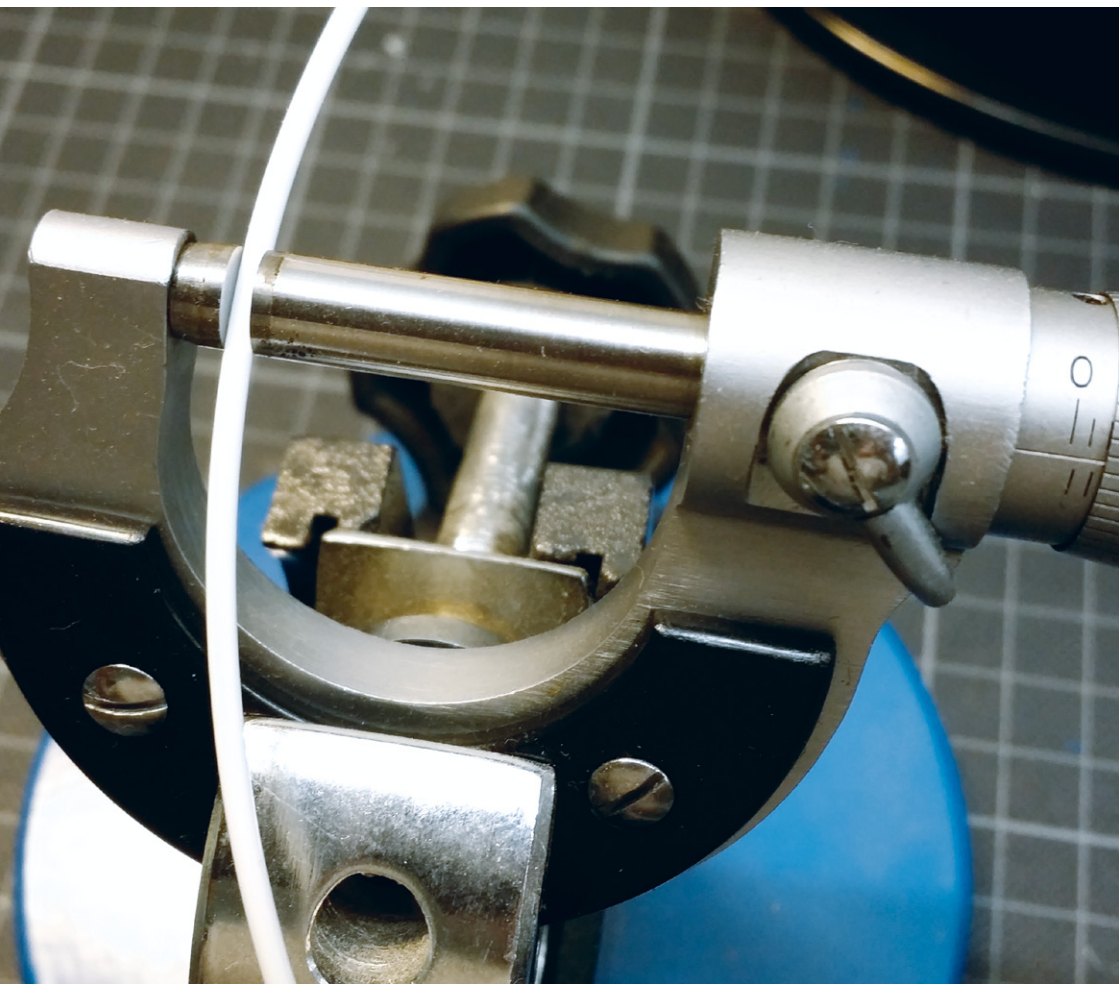
DAS DIGITALE MAGAZIN



JETZT ERLEBEN

QR-Codes scannen und die kostenlose
Kiosk-App von TRUCKS & Details installieren.

Weitere Informationen unter www.trucks-and-details.de/digital



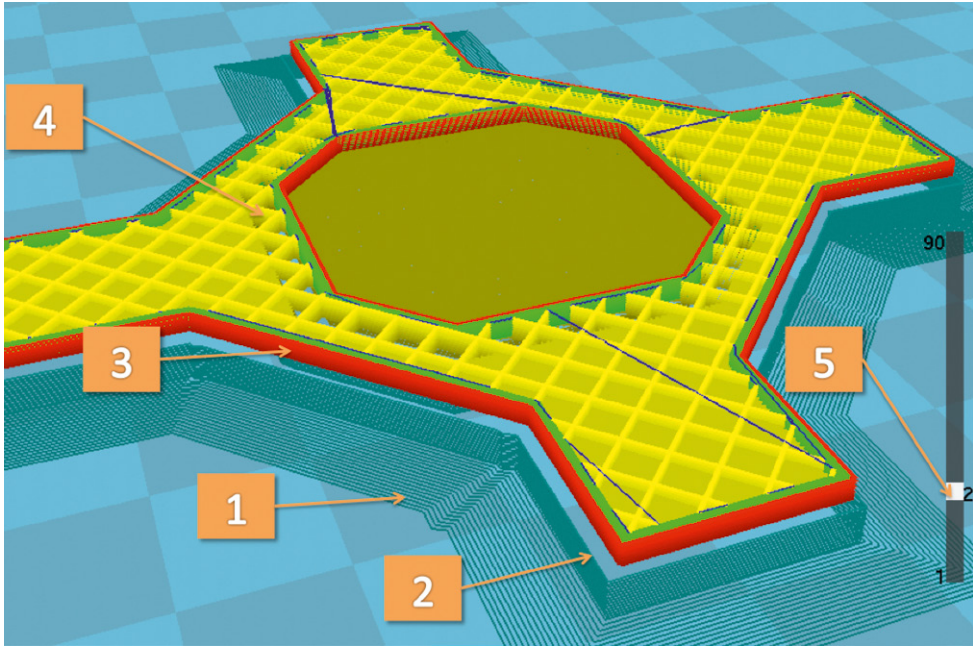
Per Messschraube wurde das Filament ausgemessen, um den Mittelwert errechnen zu können

Überprüfung der tatsächlichen Bett-Temperatur mittels Infrarot-Thermometer zeigte, dass in den Randbereichen des Heizbetts die Temperaturen deutlich niedriger waren, als dies in der Mitte der Fall war. Daher war es erforderlich, die Temperatur um 5°C anzuheben. Um die Haftungseigenschaften des PLA-Ausdrucks zu verbessern, kann man vor dem Aufheizen

des Druckbetts die Glasplatte mit Haarspray besprühen. Diese Beschichtung verbessert die Haftung des Drucks zusätzlich.

Wandstärke

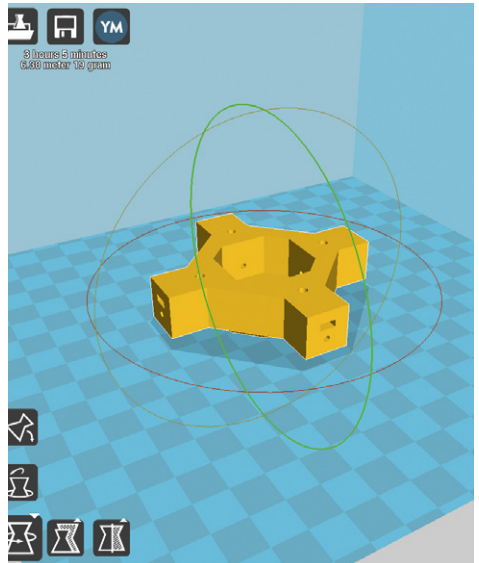
Wenn man einmal einen genaueren Blick auf ein gedrucktes 3D-Teil richtet, dann erkennt man, dass sich ein Bauteil aus Wänden (perimeter),

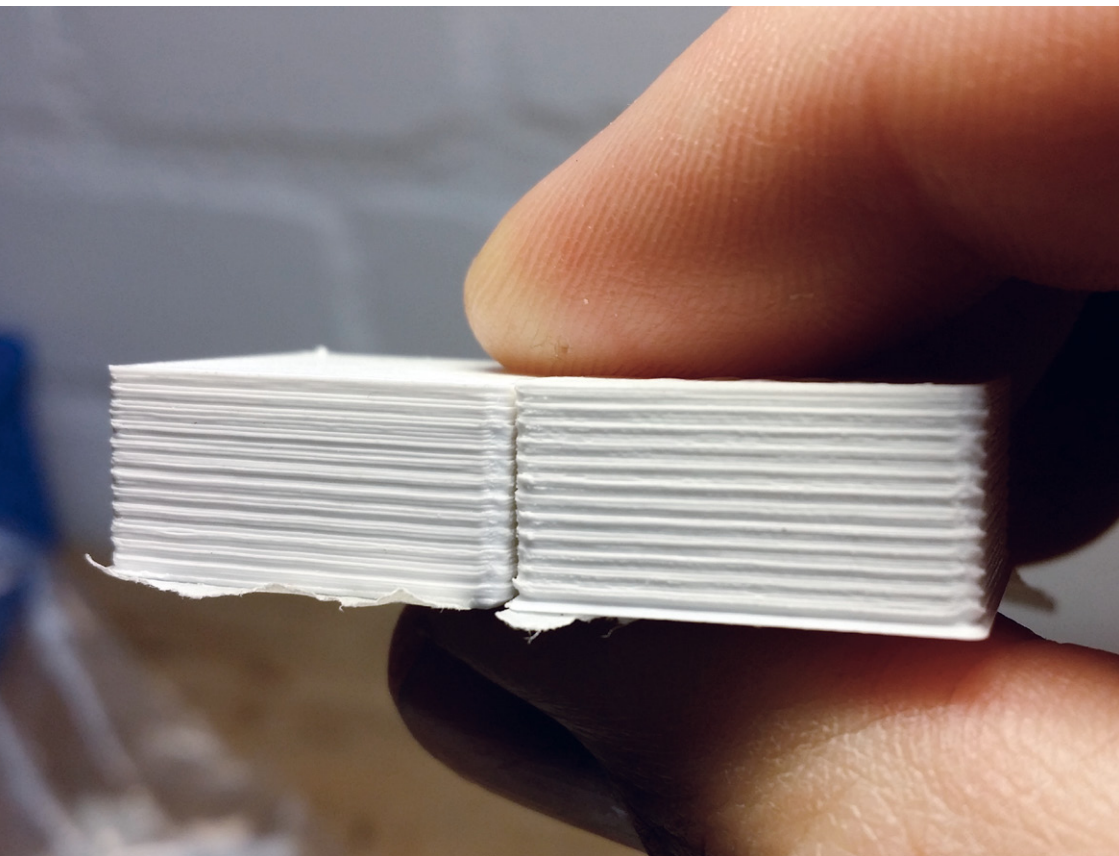


Hier kann man die unterschiedlichen Bestandteile des Druckteils in Cura gut erkennen: Brim (1), Stützstruktur (2), Wand (3), Infill (4) und Anzeige der aktuellen Layer-Ansicht (5)

Boden, Deckel (shell) und der Füllung (fill) zusammensetzt. Boden und Deckel werden dabei aus diagonal ausgerichteten Schichten aufgebaut. Diese Art des Drucks sorgt dafür, dass die Shell geschlossen ist. Eine Wand eines Bauteils besteht aus mindestens einer Umrandung, die dabei der Breite der Druckdüse entspricht. In der Regel wählt man die Stärke der Wand um ein Vielfaches des Düsendurchmessers – meist zwischen zwei- bis sechsfacher Stärke. Die Boden- und Deckelstärke sollte immer ein Vielfaches der eingestellten Schichtstärke sein. Gute Druckergebnisse erhält man in der Regel mit sechs gedruckten Lagen für Boden und Deckel. Die Wandung (Shell thickness) im Cura ist in

Die Ausrichtung des Modells im Bauraum ist oft entscheidend für den Druckerfolg und die notwendige Stützstruktur

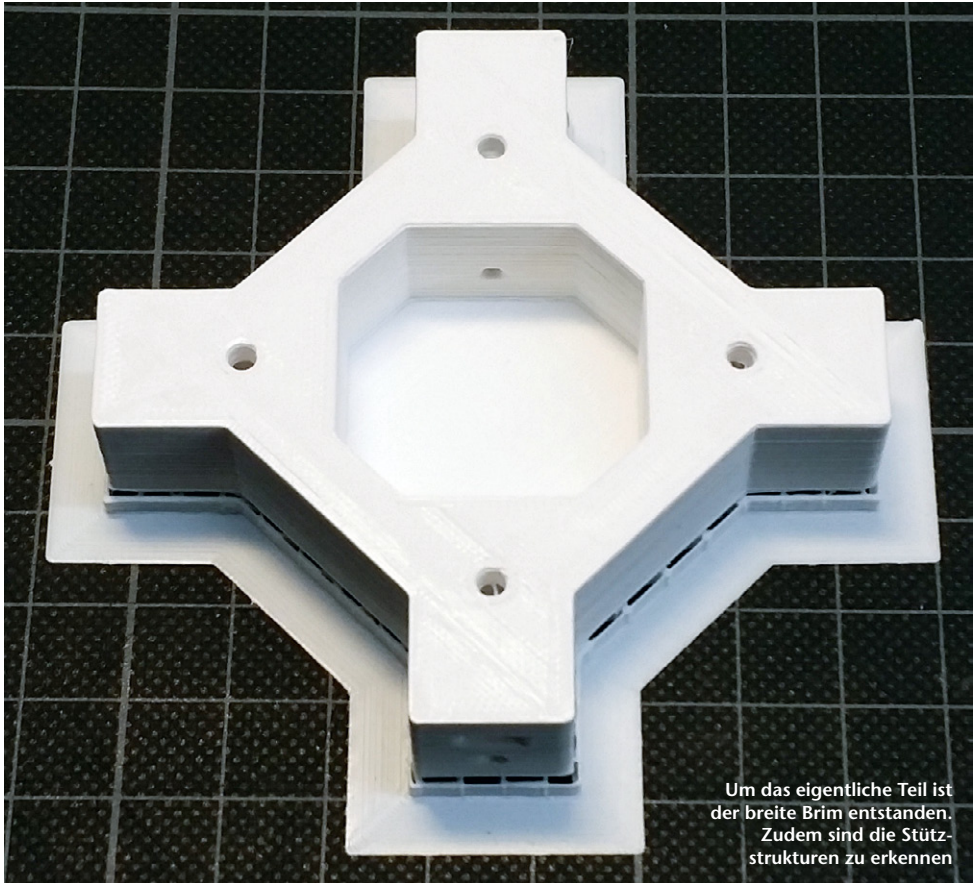




Unterschiedliche Schichtdicken sorgen für Stabilität: links 0,1 und rechts 0,2 mm

unserem Fall auf 1,2 mm eingestellt. Das Innere eines Druckteils wird durch den sogenannten Infill und dessen Füllmuster (Pattern) definiert. Eine Fülldichte (Fill Density) von 20 Prozent ist von der Stabilität her für die Modellbauanwendung völlig ausreichend. Bei der Bauteilauslegung und Ausrichtung im Bauraum ist darauf zu achten, dass die Wabenstruktur in der Wirkachse der Hauptkräfte liegt. Braucht man zusätzliche Sicherheit, dann kann man aber auch mit 100-Prozent-Infill drucken. Dies kostet nur erheblich Druckzeit und Material.

Wesentlich für die Oberflächen- und Detailqualität eines Ausdrucks ist die gedruckte Schichthöhe (Layer height). Diese liegt üblicherweise zwischen 0,05 und 0,5 mm, je nach Möglichkeit des 3D-Druckers. Völlig ausreichende Ergebnisse kann man mit Einstellungen zwischen 0,2 und 0,1 mm erreichen. Ein nicht ganz unwesentlicher Aspekt bei der Wahl der Schichthöhe ist die daraus resultierende Druckdauer. Denn wählt man zum Beispiel statt 0,2 eine Layer-Höhe von 0,1 mm, so verdoppelt sich die Druckzeit. Generell gilt aber: Je niedriger die



Um das eigentliche Teil ist der breite Brim entstanden. Zudem sind die Stützstrukturen zu erkennen

Schichthöhe, desto detailreicher werden Konturen und die Oberflächenqualität von Seitenflächen, Schrägen und Rundungen.

Geschwindigkeit

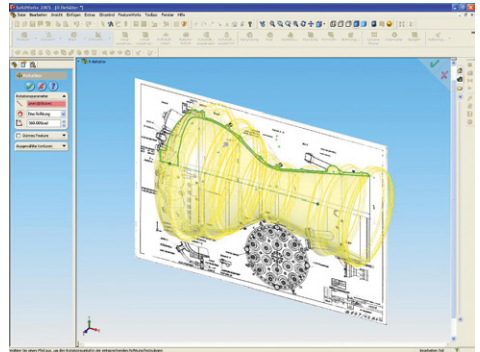
Einen hohen Anteil an der Druckqualität tragen die eingestellten Geschwindigkeiten. Bewährt haben sich niedrige Geschwindigkeiten, das heißt für Wandung, Deckel und Boden (Bottom Layer speed, Shell speed) 20 mm pro Sekunde (mm/s) und für den Infill (fill speed) 30 mm/s. Generell gilt: Je nied-

riger (mindestens 20 mm/s) die gewählte Geschwindigkeit, desto besser werden die Teile. Druckgeschwindigkeiten jenseits von 50 mm/s sind bei diesem Drucker nicht gut für den Ausdruck. Die Geschwindigkeit (Travel speed) für die Verfahrswege ist mit 150 mm/s eingestellt. Für den eigentlichen Druckvorgang ist noch der Einstellbereich des Materialrückzugs wichtig. Dieser ist immer dann entscheidend, wenn der Druckkopf von einem Druckbereich zu einem anderen Bereich wechselt.

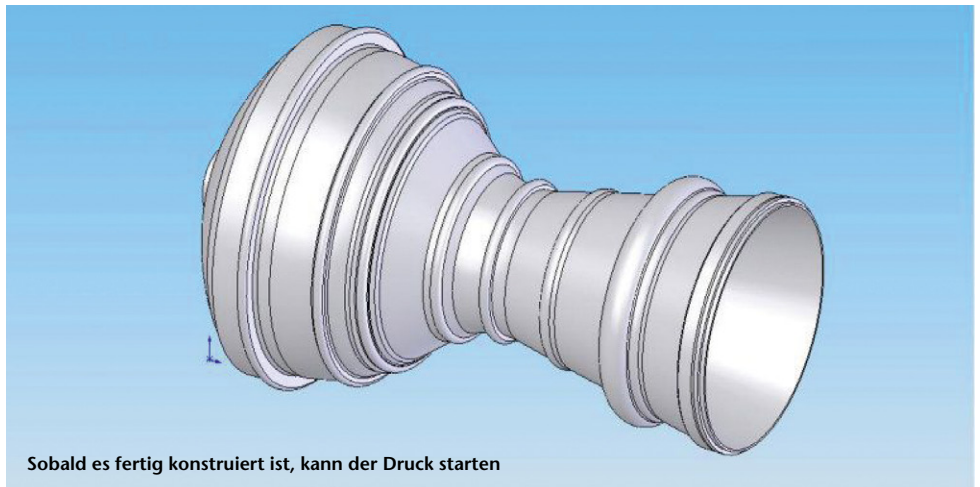
Dann wird im Druckkopf das Material mit einer bestimmten Geschwindigkeit über eine festgelegte Filament-Länge zurückgezogen. Am neuen Druckort angekommen wird das Material wieder schnell in die Druckdüse geschoben. Dadurch wird besonders die Fadenbildung beim Druck vermieden. Um ein Optimum der Einstellungen zu finden, sind Testdrucke zu empfehlen. Sie wurden in diesem Fall mit einem Testkörper durchgeführt und nun folgende Werte eingestellt: „Retraction speed“ 50 mm/s; „Retraction distance“ 4,5 mm.

Was die Einstellungen angeht, so soll an dieser Stelle nun noch ein kurzer Blick auf „Skirt“, „Raft“ und „Brim“ geworfen werden. Mit Skirt werden vor dem eigentlichen Druck des Bauteils eine oder mehrere Umrundungen um das anschließend zu druckende Bauteil gedruckt. Dies dient in erster Linie dazu, die Düse mit ausreichend Material zu versorgen und so den anschließenden Bauteildruck von Beginn an sauber zu gestalten. Denn es wäre ziemlich schlecht, für die Bodenschicht nicht gleich ausreichend Material zur Verfügung zu haben.

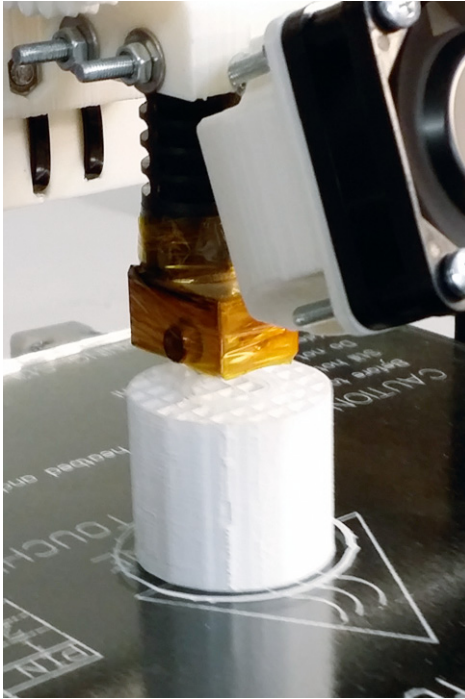
Für Skirt wurden daher vier Umrundungen (Skirt/Line count) eingestellt. Brim ist eine Einstellung, die meistens für kleine Bauteile genutzt wird. Beim Brim wird um das Bauteil ein breiter Rand gedruckt, der verhindert, dass sich das Teil durch Schrumpfung des Materials vom Heizbett löst. Auch Raft setzt man in der Regel für kleine Bauteile ein. Mit dieser Einstellung entsteht zunächst auf dem Druckbett eine dichte und dicke Gitterstruktur, die das Ablösen von Teilen verhindern soll und zudem ausreichend Stabilität bringt.



Das 3D-Modell entsteht im CAD-Programm



Sobald es fertig konstruiert ist, kann der Druck starten



Außen um das Modell wird eine zylindrische Stützstruktur gedruckt

Urmodell

Eines der ersten Druckvorhaben war die Erstellung eines Urmodells für den Resin-Guss. Für die zu erstellende Silikonform sollte ein Urmodell mittels 3D-Druck produziert werden. Dazu erstellt man zunächst ein entsprechendes CAD-Modell und speicherte eine Kopie als STL-Datei ab. In Cura lud ich das STL-Modell und skalierte es in diesem Fall auf den Maßstab 1:35 herunter und richtete es passend für den Druck im Bauraum aus. Dabei wurde die Stützstruktur „Touching Buildplattform“ gewählt, um das Ganze von außen zu stützen. Nach der Vorbereitung des Druckers, das heißt Einölen der Führungen und BENEBELUNG der Glasplatte mit Haarspray, konnte der Druck gestartet werden. Da der 3D-Ausdruck noch leichte Riefen zeigte, wurden diese zunächst mit 180er-Schleifpapier geglättet, dann drei Schichten Spritzspachtel aufgetragen und nach der Aushärtung alles plan geschliffen. Anschließend grundierte und lackiert man den Ausdruck noch – fertig ist das Urmodell.



Das gedruckte Modell wird mit Spritzspachtel beschichtet, verschliffen, grundiert und lackiert



Stepcraft 600 als 3D-Drucker

Allrounder

Das Thema 3D-Druck gewinnt immer mehr an Bedeutung, vor allem werden damit im Modellbau spezielle Umbauten erst möglich. Der Einsatz dieser Technik ist bisher nicht ganz einfach gewesen, doch dies soll sich nun ändern: Wer einen Blick auf die ohnehin schon sehr universell einsetzbaren CNC-Desktop-Systeme von Stepcraft geworfen hat, erhält mit dem 3D-Druckkopf eine weitere hervorragende Erweiterung.

Der Traum vom eigenen 3D-Drucker beschäftigt wohl recht viele Modellbauer, sind damit doch nach etwas Einarbeitung durchaus komplexe Teile möglich. Dennoch will die Anschaffung einer solchen Maschine wohl überlegt sein, denn die nicht unbedingt geringen Preise stellen doch noch immer eine Hürde dar. Die Firma Stepcraft hat hier allerdings seit geraumer Zeit einen völlig anderen Ansatz und bietet zu sehr günstigen Preisen Bausätze und Fertigungsmaschinen in verschiedenen Größen zum CNC-gesteuerten und spanabhebenden Bearbeiten von Materialien an. Die Idee an dieser Maschine einfach einen 3D-Druckkopf zu befestigen, die Software umzustellen und

mit dem 3D-Druck zu beginnen, ist ebenso einfach wie genial. Je nach Maschinenversion hat man bis zu 350 x 550 Millimeter (mm) Druckfläche und dies bis zu einer Höhe von 80 mm. Übliche Geräte schaffen erheblich weniger. Das Paket enthält neben der Software-CD, einem Datenkabel, einer Acrylglasplatte und den deutschsprachigen Anleitungen den fertig montierten Druckkopf und die Steuereinheit. Der im Druckkopf integrierte Extruder samt Schrittmotor für die vierte Achse sorgt für das passende Fördern des Filaments in den Schmelzbereich (auch Hot-End genannt). Dort wird das 1,75 mm dicke Filament aus PLA bei 190 bis 195 Grad Celsius zu einem Faden von 0,4 mm Durchmesser umgeschmolzen. Dieser wird anschließend vom CNC-System schichtweise zu einem 3D-Objekt verarbeitet.

Vorarbeiten

Bevor es allerdings ans Anschließen und Installieren der Software geht, sollte man seine Version von Win PC NC kontrollieren. Die Ansteuerung des 3D-Druckkopfs kann leider nur mit der Vollversion erfolgen, welche für den um 50 Prozent reduzierten Aufpreis von 199,- Euro erworben werden kann. Dies stellt eine der zum Glück nur sehr wenigen Hürden dar. Die Vollversion wird unter anderem zur

Die runde silberne Aufnahme für das Filament ist unter leichtem Zug herausnehmbar und der Zugang zum Extruder wird dann freigelegt. Dadurch wird die bei einem Farb- oder Materialwechsel anstehende Reinigung stark erleichtert

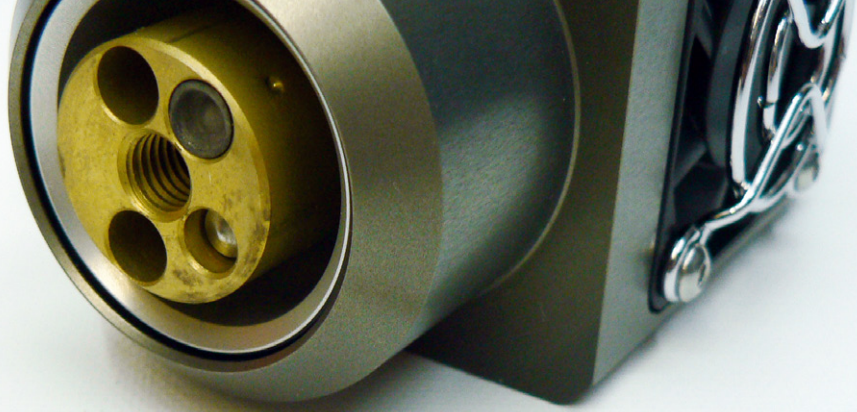




Die Steuereinheit zeigt über die LED-Anzeige im Betrieb die Temperatur in 1-Grad-Schritten an. Verändert werden kann die Temperatur mit den beiden Tastern unterhalb der Anzeige, selbstverständlich auch während des Druckvorgangs

Ansteuerung der vierten Achse benötigt, daher muss auch das Datenkabel zwischen Steuereinheit und USB-Platine der Maschine verlegt werden. Das recht lange Kabel eröffnet viele Freiheiten bei der Platzierung am Arbeitsplatz, was den reibungslosen Transport des Filaments unterstützt. Die Halterung für handelsübliche 0,75- bis 1-Kilogramm-Rollen (38-mm-Aufnahme) wird auf der Steuereinheit montiert. Sie ist verstellbar und erlaubt die Verwendung verschiedener Spulen, da unterschiedliche Breiten und Durchmesser unterstützt werden. Die Ausrichtung sollte so erfolgen, dass die Spule

möglichst auf einer Ebene mit dem Druckkopf ist, um das Abspulen des Filaments in einem sanften Bogen zu erleichtern. Um hierbei lose abgerollte Spiralen zu verhindern, genügt ein etwas festeres Einspannen der Rolle. Die eigentliche Arbeit beginnt spätestens nach der Umstellung der Software auf die 3D-Druck-Variante, denn neben Win PC NC ist noch weitere Software wie Slicer oder Repetier Host am Prozess beteiligt. Doch zunächst ein Hinweis zum genutzten PC, denn wer den bisher für CNC-Fräs- oder Plotteraufgaben genutzten PC weiterhin nutzen möchte, sollte



Das Filament wird über das weiße Teflonteil vom Antriebsmotor der vierten Achse in den Raum in der Düse gepresst. Von dort tritt der Faden dann aus

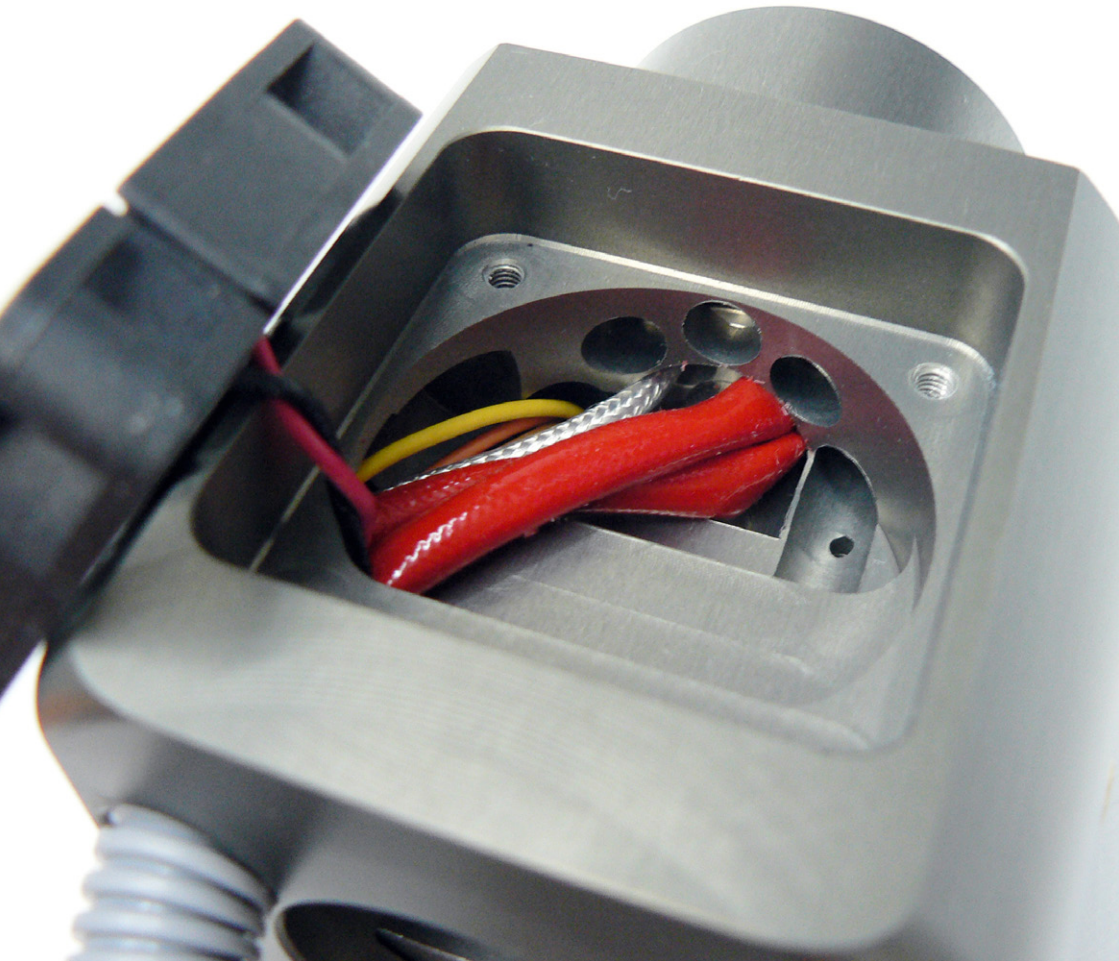


Die 0,4-mm-Düse kann über den Sechskant leicht herausgeschraubt werden, um sie zu reinigen oder einen Austausch gegen eine kleinere oder größere Düse vorzunehmen

seine Leistungsdaten überprüfen. Das Vorbereiten der Daten mit Slicer setzt einen recht leistungsfähigen PC voraus, wenn man nicht extrem lange auf die fertige Datei warten möchte. Ein Doppelkern-PC mit 2 x 3 Gigahertz samt 4 GB RAM und einer schnellen Grafikkarte mit mindestens 512 MB RAM sollte es mindestens sein. Der testweise genutzte, ältere Pentium 4 mit 1,4 Gigahertz benötigte teilweise 20-Mal so lange und brach bei größeren Dateien schlicht den Vorgang ab. Als Notbehelf kann man die Vorarbeiten auch auf einem schnelleren PC erledigen, um dann die fertigen Dateien am alten Steuerungs-PC nutzen zu können. Die Leistung wird nur beim Vorbereiten benötigt. Die dortigen Einstellungen in Slicer oder Repetier Host entscheiden

natürlich maßgeblich über das Endergebnis. Zunächst geht es allerdings darum, eine fertige STL-Datei zu erstellen. Viele CAD-Programme und auch einige Zeichenprogramme geben derlei Dateien aus. In etlichen Fällen haben sich aber versteckte Linien oder nicht korrekt zugeordnete Bereiche in die Datei geschlichen. Derartige Fehler kann man recht komfortabel

mit einer Software wie Netfabb bearbeiten. Für den Privatanwender kann man sich mit einem Microsoft-Konto bei Netfabb (<https://netfabb.azurewebsites.net>) anmelden und seine STL-Datei kostenlos zu einer Prüfung hochladen. Die anschließend wieder herunterzuladende Datei ist um etwaige Fehler bereinigt und kann nun in Slicer weitergenutzt werden.



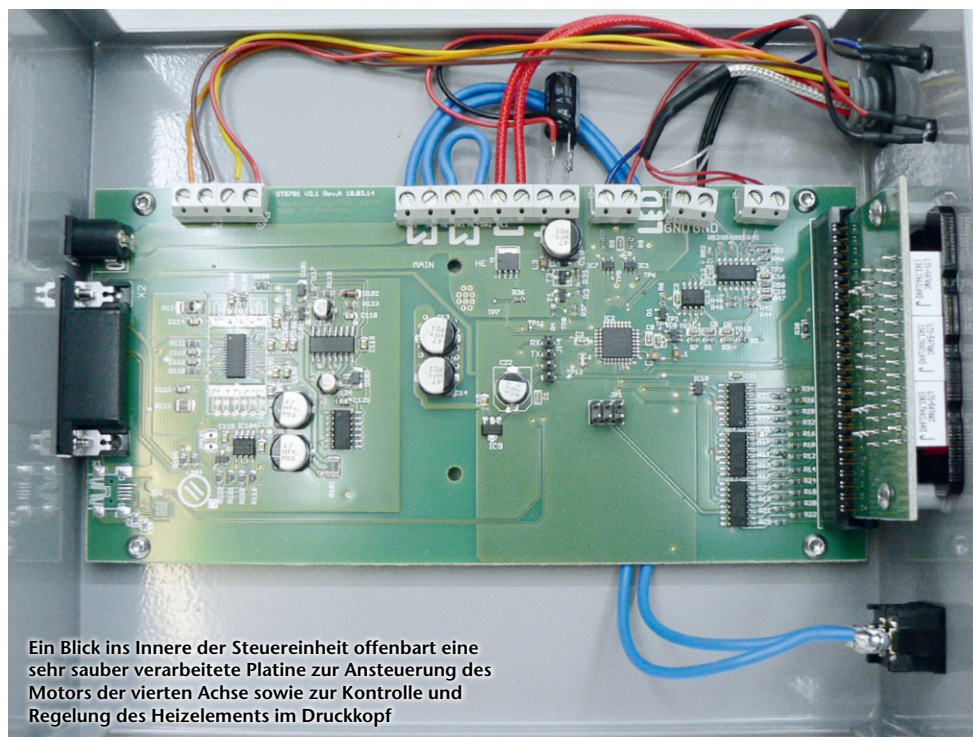
Der kleine 40-mm-Lüfter versorgt den Druckbereich mit permanenter Kühlluft, wobei der Geräuschpegel recht hoch ist. Gut sind hier auch die Kabel zum Temperatursensor (weiß) und zum Heizelement (rot) zu erkennen



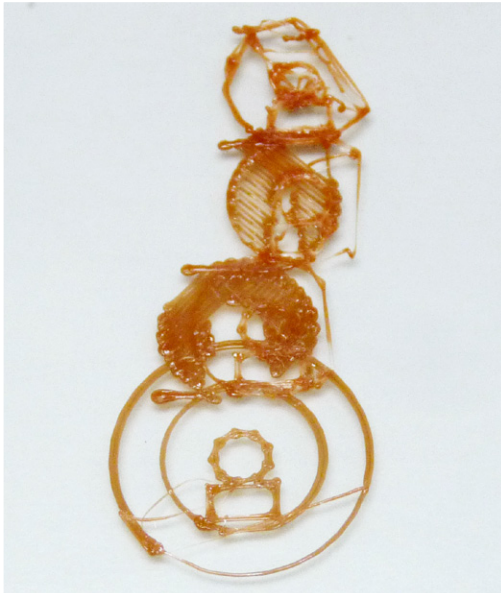
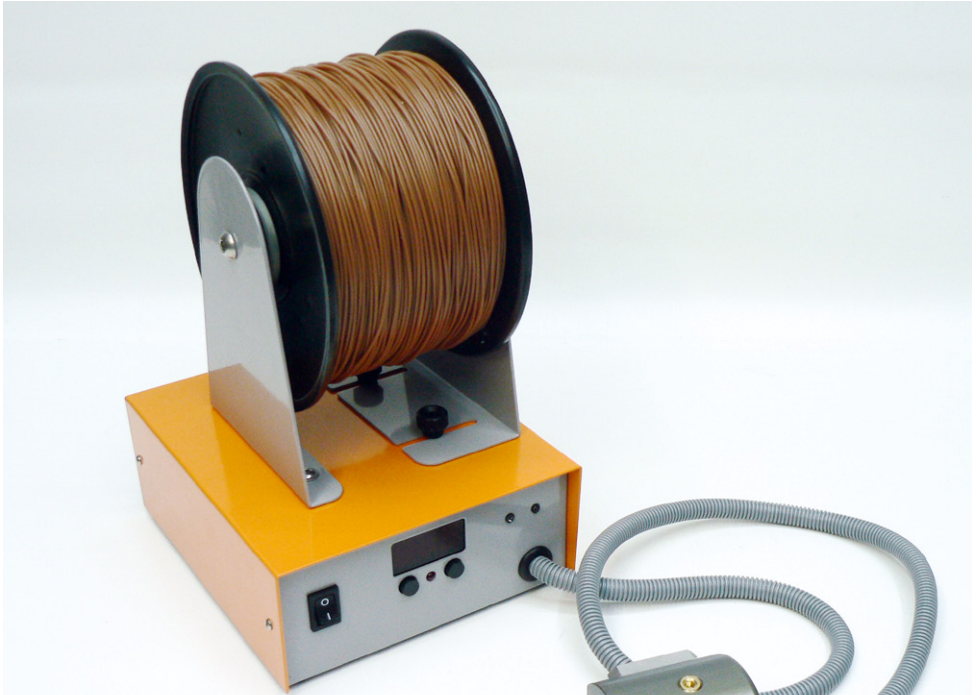
Der Blick in den Extruder macht die eigentlich simple Konstruktion zum Fördern des Filaments deutlich. Das Geheimnis der gut arbeitenden Maschine liegt in der Materialauswahl, deren Verarbeitungsqualität und zusätzlich in der sauberen Abstimmung der Einheit mit der Software

Inspiration

Wer hingegen noch keine eigenen Konstruktionen hat und zunächst andere Teile ausdrucken möchte, findet im Internet eine Menge kostenloser STL-Dateien (wie etwa bei Thingiverse, Archive3D, Shapeways oder Trickle; alle nur auf Englisch). Derartige Dateien sind oftmals schon geprüft und können gleich genutzt werden. Die weiteren Schritte setzen die Installation des beiliegenden Stepcraft Repetier Host-Programms voraus. Hier werden wichtige Einstellungen wie Schichthöhen, Düsendurchmesser, Wandstärken und (Druck-)Geschwindigkeiten eingestellt. Die Software Slicer ist in dieses Programm integriert, um die STL-Datei in einzelne Schichten zu zerlegen. Generell splittet die Software dazu ein Objekt in Boden, Decken, Wände und weitere Außenkonturen auf, um diese

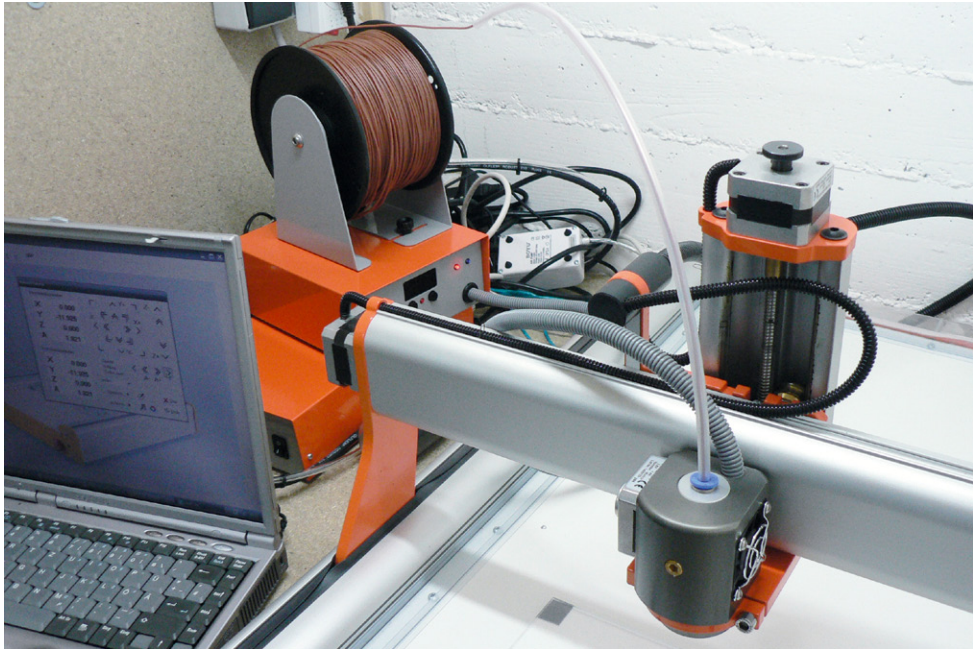


Ein Blick ins Innere der Steuereinheit offenbart eine sehr sauber verarbeitete Platine zur Ansteuerung des Motors der vierten Achse sowie zur Kontrolle und Regelung des Heizelements im Druckkopf



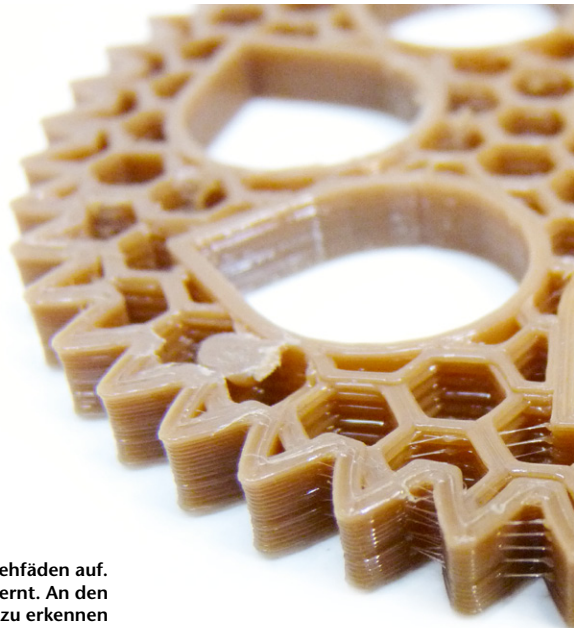
Die Filamentrolle kann wahlweise längs oder quer zur Steuereinheit angeordnet werden, je nachdem in welcher Position das Abwickeln im Betrieb reibungsloser verläuft. Die Kabellänge des Druckkopfes ist auf die maximale Maschinengröße von Stepcraft abgestimmt und mehr als ausreichend

Derartige Fehldrucke sind zu Anfang normal und lassen sich nur durch vernünftige Einstellungen in der Host-Software und an anderen Punkten der Verarbeitungskette beseitigen. In vielen Fällen bringt vor allem eine simple Geschwindigkeitsreduktion schon sehr viel

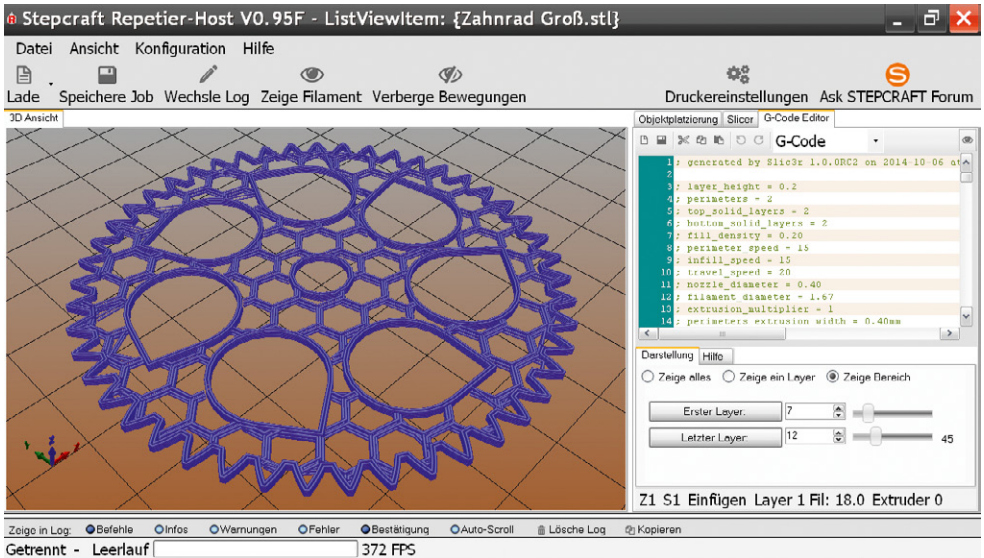


Je nach Einsatzort sollte die Leichtgängigkeit der Rolle mitunter etwas reduziert werden. Eine zu leicht drehende Rolle führte bei dieser Anordnung schnell zu zahlreichen losen Abwicklungen des Filaments, welches daraufhin immer mal wieder den Druckfluss stören kann

dann in der eingestellten Dicke zu drucken. Der darin befindliche Zwischenraum wird je nach Einstellung zum Beispiel mit Wabenmustern oder sogar komplett ausgefüllt. Die STL-Datei sollte vor dem Umwandeln in Gcode in die linke untere Ecke verschoben werden, um direkt in der Nähe des in Win PC NC gesetzten Nullpunkts mit dem Druck beginnen zu können. Slicer erzeugt in den passenden Ebenen auch Decken, wobei diese sinnvollerweise zwei bis drei Schichten dick sind und überkreuzend im 45-Grad-Winkel aufgebaut werden, um maximale Stabilität zu erhalten.



Das fertige Objekt weist nur noch geringe Ziehäden auf. Diese sind schnell mit einem Skalpell entfernt. An den Zähnen ist der schichtweise Aufbau gut zu erkennen



Beim Arbeiten mit Slicer kann man sich die einzelnen Schichten des Objekts ansehen, um etwaige Fehler zu finden. Um Zeit zu sparen, werden die Objekte mit Hohlräumen gedruckt, deren prozentuale Ausfüllung kann ebenso variiert werden wie das dafür genutzte Muster (hier Waben)

Beim anschließenden Erzeugen der Gcode-Datei werden die Parameter des Stepcraft-Systems (zum Beispiel Druckbereich), des 3D-Druckkopfs (zum Beispiel Düsendurchmesser) und die von Slicer (zum Beispiel Schichtdaten) erzeugten Daten in einen maschinenlesbaren Gcode für Win PC NC geschrieben. Bevor die Gcode-Datei nun in Win PC NC übernommen wird, sollte zunächst der Nullpunkt mittels eines Blatts Papier so dicht wie möglich an die Oberfläche der Acrylglasplatte gelegt werden. Hierzu wird die Z-Achse so lange abgesenkt, bis das Blatt Papier nur noch schwer unter der Düse bewegt werden kann.

Die nun folgende Fahrt auf den Sicherheitsabstand in einer Höhe von 75 mm oberhalb des Nullpunkts kann in Win PC NC verändert werden, da er je nach Objekt auch deutlich geringer sein darf. Dies ist vor allem beim Einsatz

von selbst konstruierten Heizplatten sinnvoll, mit denen auch der Ausdruck von ABS möglich ist. Damit die ersten PLA-Schichten optimal an der Acrylglasplatte haften, hat sich der Einsatz von Abklebefolie aus dem Airbrushbereich sehr bewährt. Ein passendes Stück direkt und luftblasenfrei auf der Acrylglasplatte aufgebracht verhindert ein Losbrechen bei größeren Teilen oder zu viel Hitze. Die im Betrieb laute aber effiziente Kühlung des kleinen 40-mm-Lüfters lässt sich in Repetier Host oder Slicer abschalten. Dies führt aber vor allem bei größeren Objekten schnell zu einem Absacken der oberen Schichten, weil die unteren noch nicht fest geworden sind. Ein ebenfalls gerne auftretender Fehler ist das teilweise Lösen des Objekts von der Platte, wenn diese nicht absolut plan ist. Hier hilft im Notfall nur eine planzuzäsende Opferplatte unterhalb der Acrylglasplatte.



Die eingesetzte M3-Mutter dient dem späteren Anziehen des Ritzels auf der Welle, zur Übertragung der Kräfte ist eine entsprechende Aussparung im Objekt vorgesehen. Je nach Belastung des Objekts ist das Einlegen von Verstärkungen oder Anschlüssen während des Druckvorgangs gut zur Erhöhung der Stabilität geeignet

Grundlegende Werte

Ein wichtiges Detail bei den Einstellungen ist die Geschwindigkeit beim Druck und für Leerfahrten. Denn sowohl Repetier Host als auch Slicer und Win PC NC ermöglichen eine Beeinflussung der Geschwindigkeit. Um hier Fehlern vorzubeugen sollte man die Einstellungen so wählen, dass nur eine der Varianten zum Einsatz kommt. Hierbei zeigt sich allerdings ein weiteres Detail: Die maximale Verfahrensgeschwindigkeit von 30 Millimeter pro Sekunde (mm/s) kann beim 3D-Druck nicht wirklich genutzt werden, da sonst recht starke Versatzfehler von Schicht zu Schicht auftreten. Sehr gute Ergebnisse sind mit

Technische Daten

Einstellungen Repetier Host und Slicer

Layer Height: 0,2 mm; **Perimeters:** 2; **Solid Layers:** 2 (mindestens); **Extra Perimeters:** Ja; **Detect Thin Walls:** Ja; **Detect bridging Parameters:** Ja; **Fill density:** 0,4 (mindestens); **Speed (alle Werte):** 12 bis 18 mm/s; **Travel speed:** 20 mm/s; **Loops:** 4 (optimaler Filamentfluss für die ersten Schichten, zur Erhöhung der Haftung)

Hinweise: Beim Slicen nicht das Häkchen bei „Werte von Slicer überschreiben“ setzen. Ferner das Objekt immer nach unten links versetzen und erst dann Slicen, um den Startpunkt auch in der Nähe des Nullpunkts bei Win PC NC zu erhalten. Beim Speichern der Werte in jedem der drei Reiter separat speichern, um alle Werte dauerhaft zu übernehmen.

Werte in Win PC NC

Speed (alle Werte): wie in Slicer; **Vierte Achse Sicherheitsabstand:** je nach Objekt und Unterlagendicke auf 30 bis 40 mm reduzieren (Zeitersparnis)

Hinweise: Bei den Einstellungen zur Datenübernahme gegebenenfalls Häkchen bei „Geschwindigkeit in Datei ignorieren“ (hiermit kann man die Geschwindigkeitskontrolle über Win PC NC oder Slicer regeln). Temperatur für PLA auf 195 Grad einstellen, Nullpunkt exakt anfahren und direkt übernehmen (kein „Spiel“ hinzufügen). Keine weiteren USB-Geräte am selben Kanal wie die Maschine, Zugriffe auf USB-Sticks können Druckvorgang zum Absturz bringen (optimal: Einbau einer extra USB-Karte nur für die Maschine).



Natürlich ist die Maßhaltigkeit der fertigen Teile ein wichtiger Punkt. Auch hier gibt sich die Stepcraft-Einheit keine Blöße: Die Abweichung zur Zeichnung beträgt weniger als 0,05 mm

12 bis 18 mm/s und Rampen von 75 Millisekunden erzielt worden, was leider mitunter etwas längere Druckzeiten bedeutet. Die Einstellung „Rampe“ kann in Win PC NC dazu genutzt werden, die schnellen Richtungswechsel sanfter zu gestalten. Die Chance auf Schrittverluste und somit beschädigte Objekte wird dadurch verringert. Um die Druckzeit bei nicht so stark belasteten Teilen zu reduzieren, kann man beim Erstellen der Gcode-Datei in den Feineinstellungen von Slicer den Füllgrad des Objekts auf sehr niedrige Werte einstellen. Wenn man es an dieser Stelle übertreibt hat man allerdings bei einigen Teilen Probleme mit den oberen Deckschichten. Die oberen Schichten werden dann über einem sehr groben Lochraster aus Waben gedruckt und das Material kann nicht komplett geschlossen werden da ein Teil in die Hohlräume absackt.

Die ersten Ausdrücke mit einer neuen Maschine sind eigentlich immer Fehldrucke, da es noch zu viele Parameter einzustellen gibt. Viele Einstellungen in der entsprechenden Software sind zwar schon vorgegeben, bessere Ergebnisse lassen sich aber nur durch eigene Tests herausfinden. Dies gilt besonders dann, wenn man sich an andere Materialien wie ABS, Plywood, Nylon oder gar Gummi heranwagt. Das im 3D-Druck größtenteils genutzte PLA hat seinen optimalen Bereich zwischen 190 bis 200 Grad (Anzeige an der Steuereinheit), da es beim Druck von der umgebenden Luft abkühlt wird und tatsächlich etwa 3 bis 4 Grad weniger erreicht. Eine zu geringe Temperatur kann schnell Ziehfasern erzeugen und verhindert das saubere Ausdrucken des Materials auch in sehr kleinen Ecken, da es nicht schnell genug nachfließt. Eine zu hohe Temperatur hingegen kann

zu einem Verzerrern der Materialoberfläche, einem Verstopfen der Düse durch verbranntes Material oder einem unebenen Schichtaufbau führen, weil die Fließgeschwindigkeit unkontrollierbar wird. Man sollte sich zunächst lieber mit geringeren Werten an das Optimum herantasten, da die Erhöhung der Temperatur auch während des Drucks problemlos über die große LED-Anzeige möglich ist.

Einarbeitungszeit

Je nach Qualitätsanspruch gehört zum Drucken von 3D-Teilen auch einiges an Testarbeit, um sich optimal auf das verwendete Material einzustellen. Dies ist auch bei der sehr hochwertigen Stepcraft Maschine so, wobei die Unterschiede zwischen den Filamentanbietern ebenfalls eine Rolle spielen. Sehr preiswertes Material erreicht zum Beispiel oftmals keine sauberen Fließigenschaften und verstopft manchmal sogar die Düse. Da auch umfangreiche Reinigungsprozesse die Düse unter Umständen nicht mehr retten können, bietet Stepcraft (wie für alle Teile des Systems) selbstverständlich Ersatz an. Natürlich kann man auch die fünf

verschiedenen Düsendurchmesser (0,3 bis 1 mm) zum Verändern der minimal möglichen Wandstärke eines Objekts einsetzen. Die Dokumentation in den Anleitungen von Stepcraft wird durch das Forum www.stepcraft-systems.com/forum kompetent unterstützt.

In jedem Fall ist das Thema 3D-Druck die ideale Ergänzung einer solch vielseitigen Maschine wie der Stepcraft und sorgt nach etwas Einarbeitung für faszinierende neue Möglichkeiten. Systembedingte Geschwindigkeitsnachteile werden durch die sehr große Druckfläche, die Genauigkeit und die damit verbundenen Möglichkeiten mehr als wett gemacht. Der 3D-Druckkopf ist optimal für ambitionierte Modellbauer, Vereine, Architektur- und Konstruktionsbüros geeignet, um dort auch selbst Modelle in größeren Maßstäben umsetzen zu können.

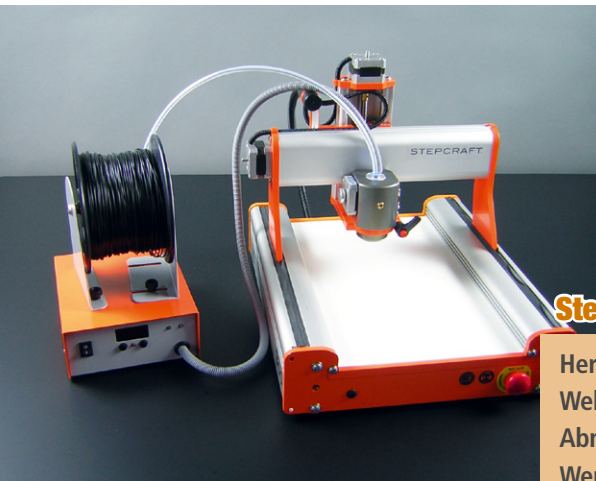
Das Spiel der Zahnräder zueinander ist ein guter Test für die genaue Fertigung der 3D-Teile in der Stepcraft-Maschine. Hier kann man die hohe Passgenauigkeit erkennen. Etwas Schmierfett und eine saubere Lagerung vorausgesetzt können diese Zahnräder lange eingesetzt werden



Druckmaschinen

3D-Printer für Modellbauer

Der Markt für 3D-Drucker ist mittlerweile bereits recht groß, sehr international sowie vielfältig – und damit relativ unübersichtlich geworden. Und das, obwohl gebrauchsfertige Lösungen ihren Preis haben. Hinzu kommt, dass die Bandbreite an Produkten und Preisen extrem groß ist. Profi-Anwendungen stehen neben Geräten, die auch für den „Hausgebrauch“ gedacht und mit einem zwar nicht unerheblichen, allerdings noch für den Hobby-Bereich darstellbaren finanziellen Aufwand verbunden sind. In dieser Aufstellung haben wir eine Auswahl an Geräten bis zu einem Preis von 2.500,- Euro zusammengetragen. Da sich das Angebot derzeit sehr schnell verändert, erhebt diese Übersicht keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Download-Bereich auf der TRUCKS & Details-Website unter www.trucks-and-details.de findet sich zudem eine Tabelle mit zusätzlichen 3D-Druckern und umfangreichem technischen Datenmaterial.



Stepcraft 300

Hersteller: Stepcraft Systems

Website: www.stepcraft-systems.com

Abmessungen: 345 x 440 x 280 mm

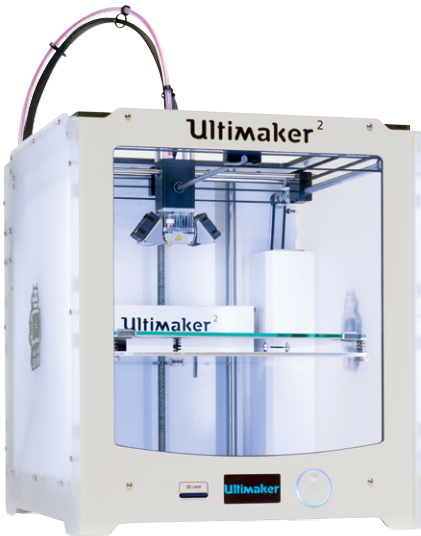
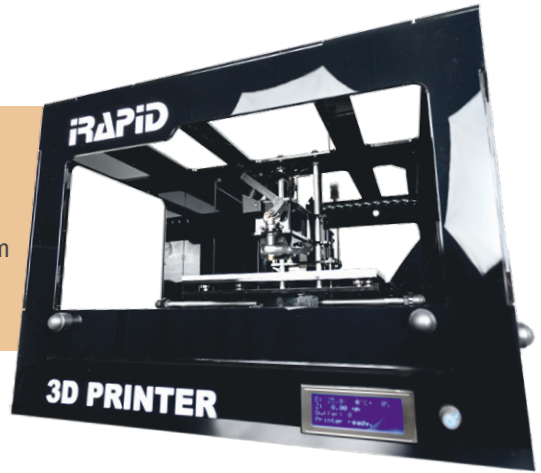
Werkstückgröße (max.): 210 x 300 x 80 mm

Bauweise: Bausatz + Fertigerät, offen

Preis: ab 1.228,- Euro

iRapid Black

Hersteller: Irapid
Website: <http://irapid.de>
Abmessungen: 500 x 350 x 400 mm
Werkstückgröße (max.): 250 x 150 x 120 mm
Bauweise: Fertigerät, geschlossen
Preis: ab 999,- Euro

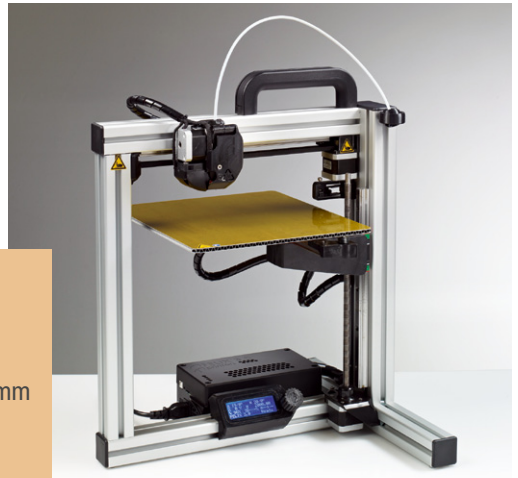


Ultimaker 2

Hersteller: Ultimaker
Website: www.ultimaker.com
Abmessungen: 357 x 342 x 388 mm
Werkstückgröße (max.): 210 x 210 x 205 mm
Bauweise: Fertigerät, geschlossen
Preis: ab 1.895,- Euro

Felix 3.1

Hersteller: FELIXrobotics BV
Website: www.felixprinters.com
Abmessungen: 584 x 508 x 555 mm
Werkstückgröße (max.): 255 x 205 x 235 mm
Bauweise: Bausatz + Fertigerät, offen
Preis: ab 1.099,- Euro



TAZ 5

Hersteller: Lulzbot

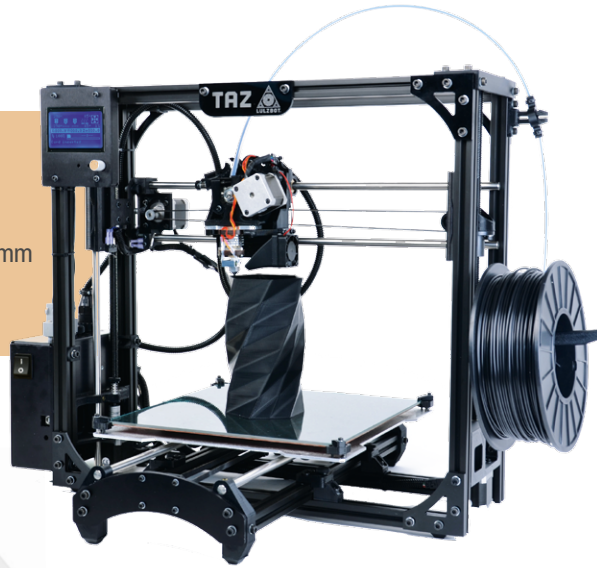
Website: www.lulzbot.com

Abmessungen: 680 x 520 x 515 mm

Werkstückgröße (max.): 298 x 275 x 250 mm

Bauweise: Fertiggerät, offen

Preis: ab 2.200,- US-Dollar



Neo 3D

Hersteller: RepRap

Website: <https://shop.germanreprap.com>

Abmessungen: 330 x 330 x 330 mm

Werkstückgröße (max.): 150 x 150 x 150 mm

Bauweise: Fertiggerät, geschlossen

Preis: ab 699,- Euro



Mono Extruder

Hersteller: Builder

Website: <http://3dprinter4u.nl/en/>

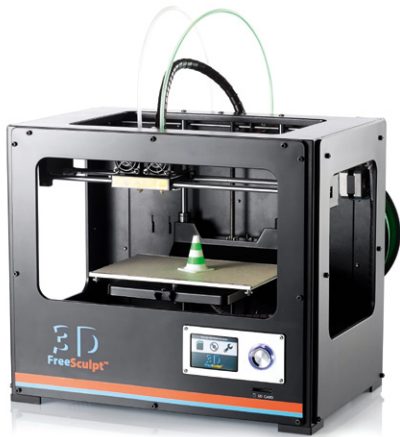
Abmessungen: 385 x 370 x 400 mm

Werkstückgröße (max.): 220 x 210 x 170 mm

Bauweise: Fertiggerät, geschlossen

Preis: ab 1.375,- Euro





EX1-Basic

Hersteller: Pearl

Website: www.freesculpt.de

Abmessungen: 590 x 530 x 480 mm

Werkstückgröße (max.): 225 x 145 x 150 mm

Bauweise: Fertigergerät, geschlossen

Preis: ab 699,- Euro

Kiwi-3D

Hersteller: Sharebot

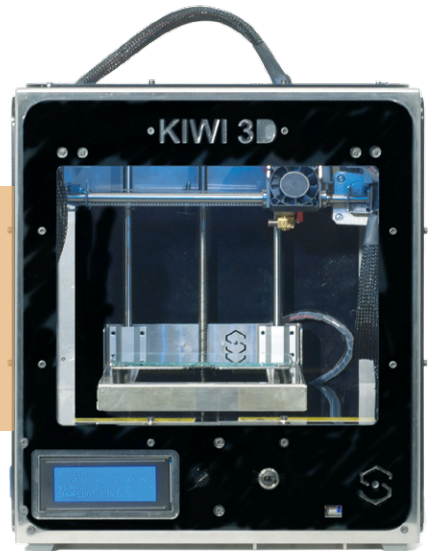
Website: www.sharebot.eu

Abmessungen: 310 x 330 x 350 mm

Werkstückgröße (max.): 140 x 100 x 100 mm

Bauweise: Bausatz + Fertigergerät, geschlossen

Preis: ab 570,- Euro



Idea Builder 3D20

Hersteller: Dremel

Website: <https://dremel3d.de>

Abmessungen: 400 x 485 x 335 mm

Werkstückgröße (max.): 230 x 150 x 140 mm

Bauweise: Fertigergerät, geschlossen

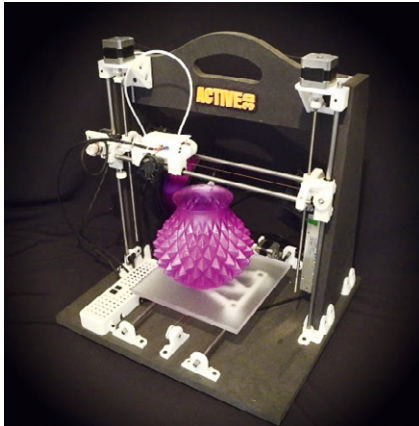
Preis: 999,- Euro





Rappy 32

Hersteller: Stellamove
Website: www.stellamove.com
Abmessungen: 355 x 370 x 420 mm
Werkstückgröße (max.): 180 x 190 x 180 mm
Bauweise: Fertiggerät, offen
Preis: ab 699,- US-Dollar

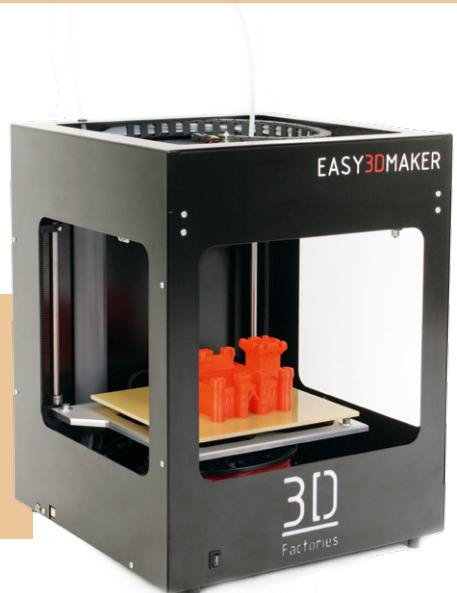


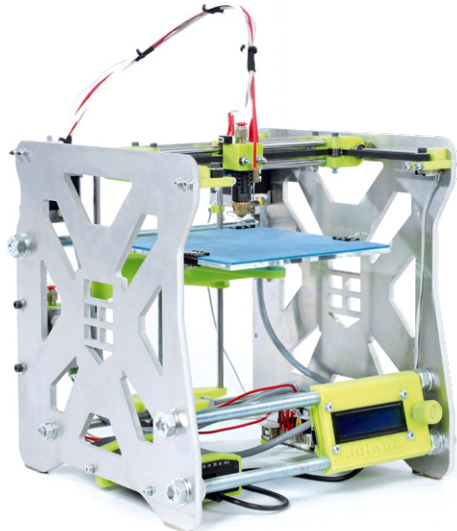
Active X1

Hersteller: Active 3D
Website: <http://shop.active3d.co.uk>
Abmessungen: k. A.
Werkstückgröße (max.): 270 x 220 x 220 mm
Bauweise: Bausatz, offen
Preis: ab 899,- Pfund

Easy 3D Maker

Hersteller: 3D Factories
Website: www.3dfactories.de
Abmessungen: 400 x 400 x 500mm
Werkstückgröße (max.): 200 x 200 x 230 mm
Bauweise: Fertiggerät, geschlossen
Preis: ab 2.150,- Euro





Mark 34

Hersteller: Jelwek

Website: www.jelwek.pl

Abmessungen: 250 x 250 x 265 mm

Werkstückgröße (max.): 140 x 155 x 105 mm

Bauweise: Bausatz, offen

Preis: ab 360,- Euro

M420

Hersteller: Multec

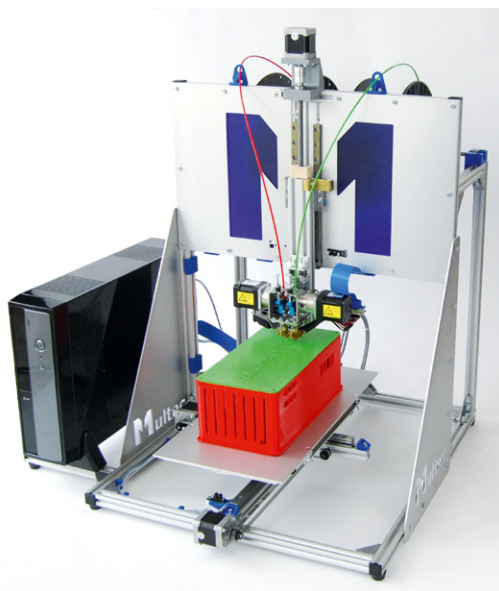
Website: www.multec.de

Abmessungen: 480 x 520 x 500 mm

Werkstückgröße (max.): 210 x 400 x 160 mm

Bauweise: Bausatz + Fertiggerät, offen

Preis: ab 1.599,- Euro



Creatr

Hersteller: Leapfrog

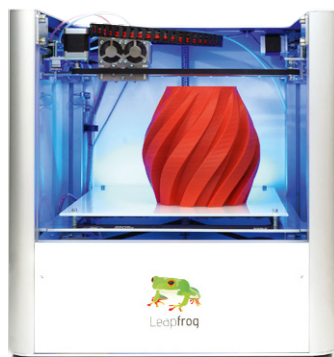
Website: www.lpfrg.com

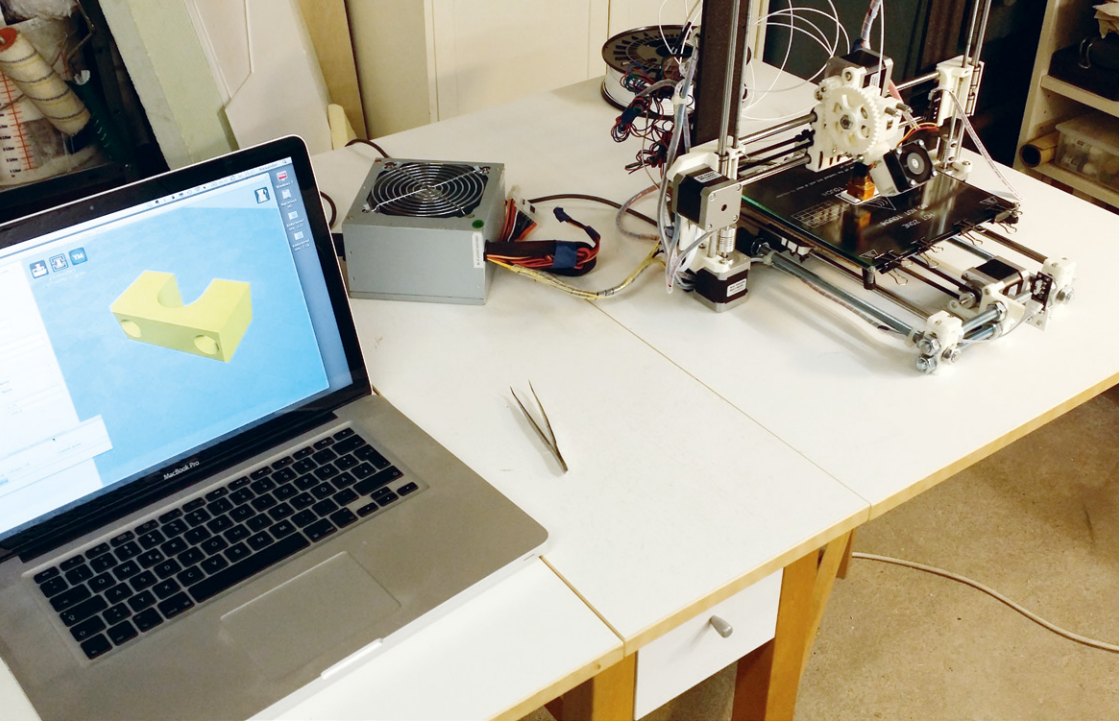
Abmessungen: 690 x 700 x 490 mm

Werkstückgröße (max.): 200 x 200 x 200 mm

Bauweise: Fertiggerät, geschlossen

Preis: ab 1.511,- Euro





IMPRESSUM

3D-Druck workbook



wellhausen
& marquardt
Mediengesellschaft

ISBN 978-3-939806-84-4

Verlag:

Wellhausen & Marquardt
Mediengesellschaft bR
Hans-Henny-Jahnn-Weg 51
22085 Hamburg
Telefon: 040 / 42 91 77 - 0
Telefax: 040 / 42 91 77 - 199
E-Mail: post@wm-medien.de
Internet: www.wm-medien.de

Herausgeber:

Tom Wellhausen
post@wm-medien.de

Verlagsleitung:

Christoph Bremer

Leitung Redaktion/Grafik:

Jan Schönberg
redaktion@wm-medien.de

Redaktion:

Tobias Meints
redaktion@wm-medien.de

Autoren:

Robert Baumgarten
Alexander Geckeler

Grafik:

Tim Herzberg
grafik@wm-medien.de

Anzeigen:

Denise Schmah, Sebastian Marquardt (Leitg.)
anzeigen@wm-medien.de

Druck

Grafisches Centrum Cuno
Gewerbering West 27
39240 Calbe
Telefon: 03 92 91/428-0
Telefax: 03 92 91/428-28

Gedruckt auf chlorfrei
gebleichtem Papier.
Printed in Germany.

Copyright

Nachdruck, Reproduktion oder sonstige Verwendung, auch auszugsweise nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages.

Haftung

Sämtliche Angaben wie Daten, Preise, Namen, Termine usw. ohne Gewähr.

Bezug:

Das 3D-Druck workbook erhalten Sie direkt beim Verlag.
www.alles-rund-ums-hobby.de
www.trucks-and-details.de



ONLINE

DAS DIGITALE MAGAZIN.



**Auch für
PC und
Notebook**

FÜR JEDES BETRIEBSSYSTEM

FÜR JEDEN INTERNET-BROWSER

FÜR PRINT-ABONNENTEN KOSTENLOS

JETZT ERLEBEN: www.trucks-and-details.de/online

NUTZEN SIE UNSER DIGITAL-ARCHIV:



**ABO ABSCHLIESSEN UND
ALLE DIGITAL-AUSGABEN
KOSTENLOS LESEN**

UND HIER GIBT'S DAS DIGITALE MAGAZIN FÜR MOBILE ENDGERÄTE.



QR-Code scannen und die kostenlose Kiosk-App von TRUCKS & Details installieren



Weitere Informationen unter: www.trucks-and-details.de/digital



renkforce

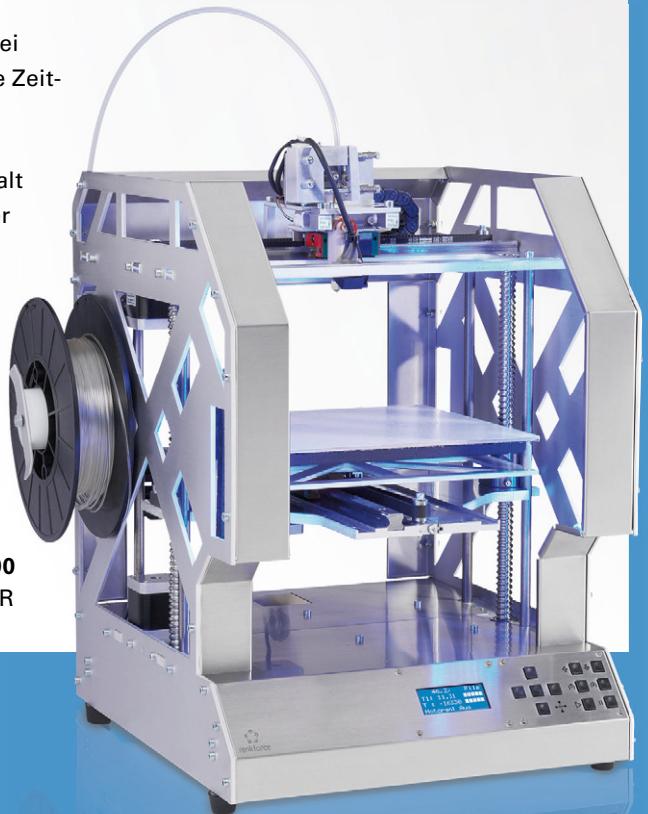
Technology powered by people

Technik schafft neue Möglichkeiten. Ihre Bewertungen geben uns den Anstoß für Produktverbesserungen, Weiterentwicklungen oder die Idee für völlig neue Produkte.

Die Produktpalette reicht dabei von A wie Autoradio bis Z wie Zeitschaltuhr.

Die vollständige Produktvielfalt von renkforce finden Sie unter **conrad.de/renkforce**

renkforce 3D-Drucker RF1000
Art.-Nr. 1007508 1.999,- EUR



Produkte von Menschen für Menschen

renkforce steht für hohe Qualität, Zuverlässigkeit, Kundenfreundlichkeit und einen fairen Preis. Damit passen sich renkforce-Produkte Ihren Bedürfnissen an – und das deutlich unter dem Preis bekannter Herstellermarken.

Online mehr!

Mehr Infos zum renkforce RF1000 und zum Thema 3D-Druck finden Sie hier:

