

© Andriy Arnyasov, 123RF

Open Source im 3D-Druck-Bereich

Druckreif

Wer in den 3D-Druck einsteigt, muss auf Open Source nicht verzichten. Doch was taugen die Lösungen, wo liegen die Vor- und Nachteile? Das Linux-Magazin hat sich in der Berliner 3D-Druck-Szene umgesehen und mit Experten gesprochen. Kristian Kißling

Als ich das erste Mal richtig Lust bekomme, mir einen eigenen 3D-Drucker zuzulegen, stehe ich mitten in einer Fabrikhalle, umgeben von einer Armada an 3D-Druckern verschiedenster Form und Größe. Darum herum sind einige der damit erzeugten Exponate positioniert.

Die Halle wirkt hell und freundlich, sie steht in Berlin Alt-Treptow. Im 19. Jahrhundert befand sich ungefähr hier die Chemische Fabrik Dr. Jordan, später dann Agfa, die Actien-Gesellschaft für Anilin-Fabrication. Es gibt ein Café, Leute arbeiten in einem offenen zweiten Stockwerk oder feilen in Büros an Projekten.

Ich bin hierher gekommen, um mich bei Guido van Toor von Motion Lab sowie dem Entwickler und Motion-Lab-Mitglied Ansgar Schmidt über den Open-Source-Einsatz im 3D-Druck zu informieren. Wir sprechen über ihre Erfahrungen mit der noch recht jungen 3D-Druck-Szene; dann führt mich Ansgar noch einmal eine Runde durch die Halle.

Die bietet nicht nur Motion Lab ein Dach über dem Kopf. Sie versammelt eine ganze Reihe kleiner Unternehmen und Startups, die sich wohl grob der Maker-Szene zuordnen lassen – wenn auch mit teilweise hohem Professionalisierungsgrad. Zur Verfügung stehen den Projekten Lasercutter, CNC-Fräsen und 3D-Drucker in diversen Größen – in einen der Drucker passen theoretisch sogar meine beiden Motion-Lab-Interviewpartner.

Wer die Geräte in der Halle nutzen möchte, kann das nach einer Einweisung gegen eine Gebühr tun. Manche Maker mieten sich einen Arbeitsplatz vor Ort, andere kommen in ihrer Freizeit vorbei.

(R)evolution: RepRap

Zwar gab es 3D-Druck als Rapid Prototyping im industriellen Umfeld schon in den 1980er-Jahren, aber erst Adrian Bowyer (siehe Kasten Reichtum ohne Geld) legte mit dem RepRap die Wurzeln

für den 3D-Boom im semiprofessionellen und Hobbybereich, indem er 3D-FFF-Drucker (Fused Filament Fabrication) auf den Massenmarkt brachte.

Im September 2006 druckte der noch junge RepRap 0.2 (das Kürzel steht für *Replicating Rapid Prototyping*) erstmals einen Teil seiner selbst nach. Gut anderthalb Jahre später erschien unter dem Codenamen „Darwin“ der RepRap 1.0, der es schaffte, sämtliche druckbaren Teile seiner Konstruktion zu replizieren.

Im RepRap-Projekt spielte der Open-Source-Gedanke eine tragende Rolle. Die Konstruktion des RepRap stellte Bowyer unter die GPL, die Bauanleitung ebenso. Für rund 500 Euro ließ sich der komplette Drucker zusammenbauen. Und nicht nur das: Dank des offenen Designs fanden sich bald schon Nachfolger, die auf Basis des RepRap eigene Geräte entwarfen. Daneben gründete Bowyer die Firma RepRap Pro Ltd. und vertrieb mit den RepRap-Pro-Modellen eine eigene Reihe von 3D-Druckern für den professionellen Einsatz.

2009 erschien, ebenfalls unter der GPL, der RepRap Mendel, der von Ed Sells stammte, einem Studenten Bowyers. Wie heute üblich, brachte der Nachfolger ganz evolutionär auch einige Verbesserungen gegenüber „Darwin“ mit. Unter anderem besaß Sells Mendel, wie er auch

genannt wurde, eine größere Druckfläche, eine bessere Achseneffizienz, und er ließ sich leichter zusammenbauen. Goldene Zeiten für den 3D-Druck also?

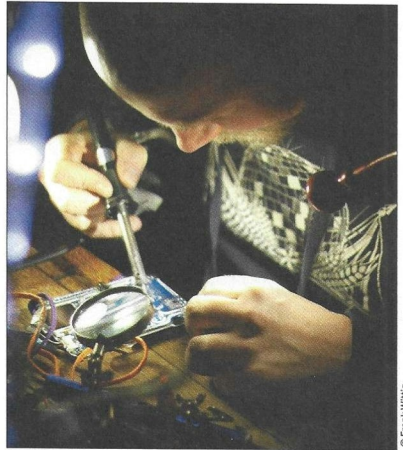
Der Prusa-Fork

Nicht unbedingt, wenn man Jan Northoff glauben möchte ¹¹. Der Geschäftsführer von YOUin3D ¹² hat eine völlig andere Erinnerung an die ersten Jahre der massentauglichen 3D-Drucker. Ich erwische ihn im Urlaub in Schweden, und wir plaudern über eine Videoschaltung. Er nennt die erste Zeit „die fünf schrecklichen Jahre“: Damals seien die Workflows frustrierend kaputt gewesen. Erst um 2012 oder 2013 habe sich die Situation dank der neuen Prusa-Modelle gebessert.

2009, als Sells Mendel erschien, hob der Tscheche Josef Prusa ¹³ – ebenfalls ein Mitarbeiter im RepRap-Projekt –

weder einen Shop noch ein Internet-Verstandhaus, um mich mit diesen Dingen zu versorgen: Ich muss nur in der Lage sein, die Standardteile und Materialien zusammen mit meinen wöchentlichen Einkäufen im Supermarkt zu besorgen“, erklärte Bowyer seine Idee in dem Manifest.

Die von Bowyer konkret vorgeschlagene Maschine, der RepRap ¹⁴, replizierte sich dann zwar selbst, baute sich aber keineswegs selbst zusammen, wie es von Neumann vorsah. Streng genommen können sich 3D-Drucker bis heute nicht komplett selbst reproduzieren, denn einige der Teile lassen sich einfach (noch) nicht drucken. Doch die Idee einer komplett selbstreplizierenden Maschine lebt in Nachfolgeprodukten des RepRap weiter, etwa im Mulbot ¹⁵ und dem RepRapMJ ¹⁶.



© Frank Wittig

¹¹ Jan Northoff arbeitet seit einigen Jahren mit 3D-Druckern, seine Firma YOUin3D stellt eigene Modelle her. Das klappt auch, weil die Systeme sehr offen sind.

seine eigene Kreation aus der Taufe. Das RepRap-Wiki nennt den Prusa Mendel den Ford T unter den 3D-Druckern, da er sich noch deutlich einfacher montieren ließ als die RepRap-Versionen. Auch Ansgar Schmidt von Motion Lab lobt die Prusa-Geräte. Er bescheinigt ihnen eine extrem gute Qualität, super Support und eine vorbildliche Community.

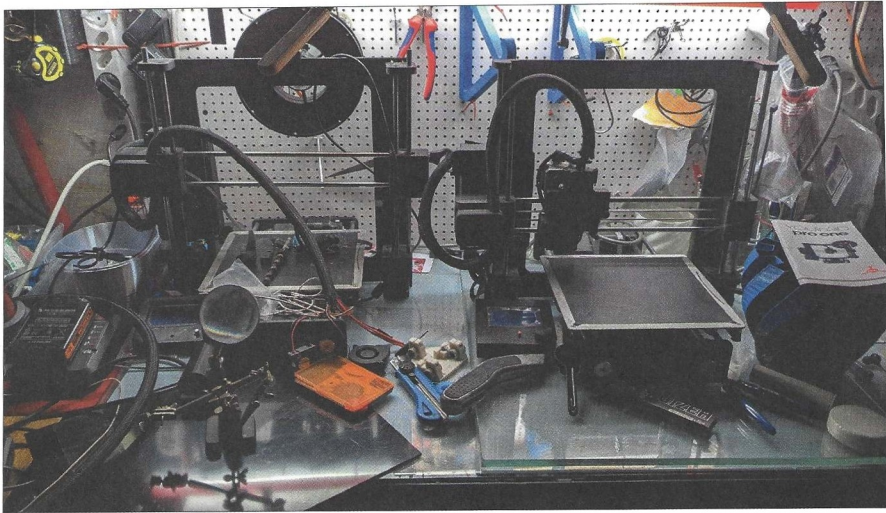
Jan Northoff hält Prusa für den Raspberry Pi unter den 3D-Druckern. Prusa veröffentlichte fast im Jahresrhythmus neue Varianten seiner Geräte: 2011 erschien der Prusa Mendel (iteration 2), 2012 der Prusa i3. Anders als Bowyers, dessen Firma Anfang 2016 den Dienst einstellte ¹⁷, entwickelt und liefert Prusa auch heute noch stetig neue Geräte.

Zwei Bekannte von Jan Northoff trafen Josef Prusa dann 2012 auf der Open-Knowledge-Konferenz in Berlin. Prusa stellte dort seinen Prusa i3 vor. Auf dessen Basis entwickelten die beiden 3D-Druck-Enthusiasten einen eigenen Drucker ¹⁸, den i3 Berlin ¹⁹, den Jan Northoff dann 2016 übernahm und weiterentwickelte. Sie waren damit belleibe nicht die einzigen; das RepRap-Wiki listet eine ganze Armada von Prusa-basierten Modellen auf.

Reichtum ohne Geld

Der Brite Adrian Bowyer ²⁰, dem die Queen inzwischen den Orden „Most Excellent Order of the British Empire“ verliehen hat, brachte 2004 die Idee für einen sich selbst replizierenden 3D-Drucker ins Spiel. Der Lehrbeauftragte am Fachbereich Mechanical Engineering der Universität Bath verknüpfte dabei eine Analyse von Karl Marx und Friedrich Engels im Kommunistischen Manifest mit John von Neumanns Idee eines selbst-reproduzierenden Automaten von 1953 ²¹.

Bowyer träumte von einer Maschine, die Waren für den täglichen Bedarf herstellt, aus umweltverträglichem Druckmaterial: „Ich brauche mir kein Ersatzteil für meinen kaputten Staubsauger zu kaufen, ich kann es einfach aus dem Netz herunterladen – tatsächlich kann ich den kompletten Staubsauger herunterladen. Ich brauche auch



2 Evolution bei der Arbeit: Beim YOUin3D Pro One handelt es sich um eine aktualisierte Variante des i3 Berlin. Der beruht wiederum auf dem Prusa i3, der seinerseits auf dem RepRap fußt.

Offene Bauweise

Einer der Hauptgründe für den Erfolg von FFF-Druckern im Hobby- und semiprofessionellen Bereich ist ihre Offenheit. Die spiegelt sich von Anfang an in vier Bereichen wider:

- Es gibt offene Bauanleitungen für die 3D-Drucker.
- Die Firmware ist frei und lässt sich verändern.
- Die Slicer, die die 3D-Modelle für den Druck vorbereiten, sind quelloffen.
- Es gibt freie Software, um die 3D-Modelle zu entwerfen.

Zwar gibt es inzwischen auch viele geschlossene, kommerzielle Ansätze, aber Adrian Bowyer veröffentlichte mit dem RepRap auch eine Bauteilliste und eine Montage-Anleitung. Bis heute verkaufen die Anbieter von 3D-Druckern häufig zwei Versionen: Eine montierte sowie eine etwas günstigere zur Selbstmontage. Wer will, kann die Teile also selbst einkaufen und zusammenschrauben – ganz im Sinne des Maker-Prinzips.

Dieses Prinzip wendet auch die 3D-Druck-Firma 3dk.Berlin an, die ich in der

Motion-Lab-Halle ebenfalls kurz treffe. Sie stellt unter anderem den Tutolino-3D-Drucker [her](#), der an zahlreichen Schulen im Einsatz ist [☞](#). Die Kinder erhalten nur den Bausatz, bauen den Drucker gemeinsam zusammen und drucken ihre 3D-Entwürfe aus.

Offener Maschinenraum

Auf den Geräten selbst läuft häufig offene Firmware, die dann die sogenannten G-Codes empfängt und in Maschinenaktionen übersetzt, etwa Bewegungen des Druckkopfs. Die offene Firmware erfreut sich insbesondere im Hobbybereich und in kleinen Unternehmen großer Beliebtheit und dürfte vor allem Menschen ansprechen, die mehr über das Steuern von 3D-Druckern lernen möchten oder vielleicht über den Bau eines eigenen 3D-Druckers nachdenken.

Professionelle Geräte bringen laut Guido van Toor und Ansgar Schmidt hingegen häufig keine offene Firmware mehr mit. Das liege auch daran, dass die Käufer dieser höherpreisigen Geräte weder die Zeit noch die Lust haben, sich

mit den Details zu beschäftigen. Sie brauchen keine zusätzliche Funktionalität; im Idealfall laufen ihre Geräte einfach ohne größere Nacharbeiten und Interventionen. Das Verhältnis von offener zu geschlossener Firmware schätzen van Toor und Schmidt momentan auf fifty-fifty.

Qual der Wahl

Die Original-Firmware für den RepRap 1.0 wartet noch immer auf Sourceforge auf interessierte Nutzer [☞](#). Daneben gibt es viele weitere Firmware-Anbieter. Die Druckexperten aus Berlin sehen vor allem Marlin und Prusa als Platzhirsche. Weitere Anbieter heißen Klipper, Sprinter, Teacup oder Grbl und treiben zum Teil neben 3D-Druckern auch CNC-Fräsen und Lasercutter [☞](#) an.

Die Marlin-Firmware [☞](#) steht unter der GPLv3, ist seit 2011 ein eigenes Projekt mit einer Github-Seite [☞](#) und basiert ursprünglich auf Firmware von Sprinter und Grbl. Marlin läuft sowohl auf 8-Bit-Atmel-AVR-Mikrocontrollern als auch auf der Arduino/Genuino-Plattform und beherrscht mehr als 150 G-Code-Befehle.

Die Firmware kam zunächst gezielt auf dem Replap zum Einsatz, inzwischen nutzen sie aber auch kommerzielle 3D-Drucker-Anbieter wie Ultimaker, Printbot, Lulzbot und Prusa. Die Community-betreute Firmware will und soll möglichst viele Plattformen abdecken.

Hersteller Prusa bietet zudem eine eigene offene Firmware auf Marlin-Basis an, die unter der GPLv3 steht. Die Prusa-Firmware  läuft zwar nur auf der haus-eigenen Hardware, ist aber perfekt auf die FFF-Drucker abgestimmt.

Ein Zwischending zwischen Slicer und offener Firmware ist Octoprint , das unter der AGPL steht. Die Software rief Gina Häußge 2011 als Fork von Cura (dazu weiter unten mehr) ins Leben. Mittlerweile arbeitet die Entwicklerin in Vollzeit daran und finanziert sich per Crowdfunding. Octoprint läuft auf einem lokalen Rechner (im Idealfall auf einem Raspberry Pi), wo die Software einen Webserver startet. Der Nutzer steuert dann über ein Browser-Interface einen über USB angeschlossenen 3D-Drucker.

Dank Octoprint lässt sich G-Code nicht nur anschauen, sondern auch automatisiert an die 3D-Drucker übertragen. Zugleich gibt es eine Schnittstelle für Kameras, um den Druckfortschritt im Auge zu behalten. Auch das Slicing lässt sich mit Octoprint absolvieren. Die Software meldet zudem Temperaturen und erlaubt es, in die Druckkopfbewegungen einzugreifen. Dabei arbeitet sie gut mit Geräten zusammen, die offene Firmware verwenden (Marlin). Schwieriger wird es unter Umständen, wenn die Druckeranbieter proprietäre Protokolle verwenden.

A Slice of Paradise

Während CAD-Programme (Computer-aided Design) dazu dienen, Modelle für den 3D-Druck zu entwerfen, kümmern sich die Slicer als CAM-Programme (Computer-aided Manufacturing) darum, die 3D-Modelle für die Drucker druckfähig zu machen und die G-Codes für die Geräte zu erzeugen: Die am Computer erzeugten 3D-Modelle sind oft nicht einfach eins zu eins druckbar.



Über den Slicer bestimmt der User unter anderem darüber, welches Infill die Objekte erhalten sollen, wie der Drucker also die Innenräume ausfüllt. Geht es um




reine Schmuckobjekte, bieten sich Gitterstrukturen an. Wer mechanische Teile braucht, modelliert zum Beispiel eher einen gefüllten Körper. Aber das ist noch nicht alles.

Die Wahl des Slicers sei nicht egal, erklärt Jan Northoff. Wer den Slicer beherrsche, könne die Druckqualität stark verbessern. Die einen erzeugen optisch bessere Objekte, die anderen generieren Modelle, die sich mit größerer Wahrscheinlichkeit reibungslos drucken lassen. Dabei erkennt der Slicer die Formen nicht immer automatisch. Der Nutzer muss sein 3D-Objekt Schicht für Schicht durchsehen und potenzielle Hindernisse vor dem Druck korrigieren.

„Die große Magie beim 3D-Drucken liegt im Slicer“, meint auch Ansgar Schmidt. So lassen sich überhängende Teile nicht einfach so fabrizieren, weil 3D-Drucker nicht in die Luft drucken können. Hier kommt dann der sogenannte Support ins Spiel: Stützmaterial, ähnlich einem Baugerüst, das das Drucken von Überhängen erlaubt. Der Anwender muss es nach dem Druck entfernen. Wer etwas mehr Geld ausgibt, erhält wasserlösliches Support-Material.

Offen slicen



Slic3r heißt einer der ältesten Open-Source-Slicer . Die AGPL-Software ist nicht mehr so verbreitet, die letzte stabile Version stammt von 2018. Auf ihr basiert der Prusa Slicer (ebenfalls AGPLv3) , der laut Schmidt auf Prusa-Maschinen einwandfrei funktioniert: Die Drucke gelangen fast immer, meint er, aber eben nur auf Prusa-Hardware.

Bei anderen Druckern scheint Ultimaker Cura  der Platzhirsch zu sein . Die Software  steht unter der LGPLv3, um



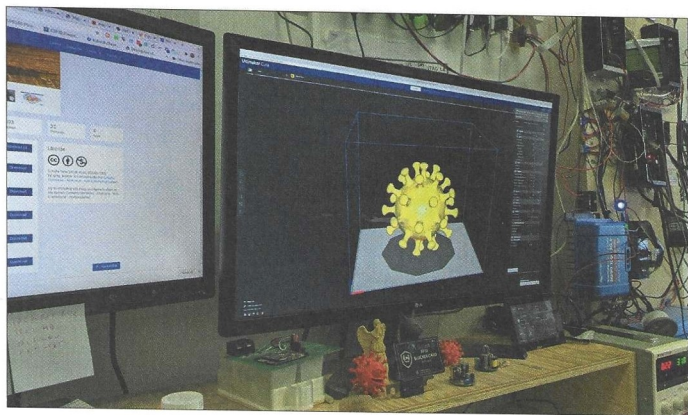
1 Teile des Schul-3D-Druckers Tutolino, der auf dem Anet A8 basiert, entstehen auch im 3D-Druckverfahren.

Erweiterungen für kommerzielle Produkte anbieten zu können, etwa für Siemens NX, Solidworks oder Autodesk Inventor. Laut Ansgar Schmidt erzielt Cura gute Ergebnisse und arbeitet, wenn der Designer viel Zeit investiert, auch extrem präzise. Über Profile spricht Cura verschiedene Maschinen an und unterstützt die Objektformate STL, OBJ, X3D und 3MF.

An kommerzieller Software sei Simplify 3D  sehr beliebt bei Profis oder Hobbyisten, ergänzt Schmidt. Auch Fusion 360 , die CAD-Software aus dem Hause Autodesk, bringt seit einiger Zeit einen eigenen Slicer mit.

3D-Modelle erzeugen


Apropos Fusion 360: Die kommerzielle Software erfreut sich bei 3D-Druckern großer Beliebtheit, was mehrere Gründe hat. Autodesk stellt klassische CAD-Programme her und lässt sich vergleichsweise einfach bedienen. Viele 3D-Druck-




4 Ansgar Schmidt arbeitet unter anderem mit dem Open-Source-Slicer Cura. Der erlaubt es, ein 3D-Objekt vor dem Druck schichtweise zu durchleuchten.

Enthusiasten kommen ohnehin aus dem Industrie- oder Produktdesign und kennen bereits andere Autodesks-Produkte. So fällt ihnen eine Umstellung nicht allzu schwer. Zudem stellt das Unternehmen seine Software für Studierende und für den Hobbybereich ein Jahr lang kostenlos bereit. Linux-Nutzer haben aber Pech: Auf dem freien System läuft Fusion 360 nicht.

Open-Source-Software scheint sich im 3D-Modelling-Bereich noch etwas schwer zu tun. Blender  gilt als sehr guter Kandidat, um 3D-Druck-Modelle zu entwerfen. Allerdings verwendet die Software ein anderes System als die üblichen CAD-Programme, was laut Guido van Toor und Ansgar Schmidt die Lernkurve deutlich anhebt. Auch Jan Northoff hält Blender zwar für großartig, aber selbst für CAD-Profis schwer zu erlernen. Blender-Profis würden hingegen auch im 3D-Druck gute Ergebnisse erzielen.

Daneben gibt es für Open-Source-Anhänger unter den CAD-Nutzern FreeCAD . Die Null vor dessen Versionsnummer (aktuell ist Version 0.18.4) verrät schon, dass die grafische CAD-Anwendung der kommerziellen Konkurrenz noch hinterherhinkt. Auch die 3D-Druck-Enthusiasten berichten von einigen Bugs, bis zur Produktionsreife dürfte es also noch etwas dauern.

Anders sieht es mit OpenSCAD  aus, das in der Szene einen guten Ruf hat. Es eignet sich aber nur bedingt für Einsteiger. OpenSCAD bringt eine eigene Skriptsprache mit, um 3D-Objekte zu beschreiben. Wer sie beherrscht, erhält mit OpenSCAD ein sehr schnelles und „megamächtiges“ Tool, erklärt Jan Northoff.

Zukunft im 3D-Druck

3D-Druck hat noch nicht fertig – im Gegenteil. Im Hardware-Bereich kommen permanent neue und interessante Filamente hinzu, also Stoffe, die die Drucker als Druckmaterial verarbeiten. Es gibt inzwischen schwer entflammare und hitzebeständige Stoffe, sehr feste und sehr elastische, mit Metallstaub und mit Holz angereicherte.

Zugleich sinken auch die Kosten für SLA-Drucker, die auf Stereolithografie setzen und bislang dank funktelliger Kaufpreise eher im Profibereich zum Einsatz kommen. Sie bestechen durch eine schnellere Druckgeschwindigkeit, eine wesentlich höhere Auflösung und lassen sich zum Beispiel auch für medizinisch erprobtes Material einsetzen, erklären Guido van Toor und Ansgar Schmidt. Damit landet Profitechnologie zunehmend im Amateurbereich.

Spätestens bei Gewinden hören der Spaß allerdings auf. Für sehr ausgeklügelte Objekte eignet sich OpenSCAD eher nicht. Dafür lassen sich damit Generatoren bauen: Da die Figuren nicht konstruiert, sondern geskriptet sind, ändern die Anwender die Maße eines 3D-Objekts einfach über ein paar Variablen. Bauteile lassen sich so schnell und dynamisch individuell „zuschneiden“ und im Vorbeigehen in der Größe anpassen.

Fazit

Dank RepRap, Prusa und einer dynamischen Maker-Szene hat der 3D-Druck vor allem in den letzten

zehn Jahren an Fahrt aufgenommen. Der Bereich bleibt zwar eine Nische, aber die Entwicklung scheint noch nicht am Ende zu sein (siehe Kasten Zukunft im 3D-Druck).

Klar ist auch: Open-Source-Lizenzen haben vor allem im Hobby- und Startup-Umfeld von Anfang an eine wichtige Rolle gespielt und spielen sie auch heute noch erfolgreich. Das betrifft vor allem die offene Firmware (Prusa, Marlin), die Slicer (Cura, Prusa Slicer) und die Druckersteuerung (Octoprint).

Im Profibereich spielt offene Firmware hingegen eher eine untergeordnete Rolle. Hier sollen die Maschinen möglichst reibungslos laufen. Tun sie das nicht, springt der Support ein.

Nur im 3D-Modelling-Bereich ist der Aufwand für Open-Source-Enthusiasten noch etwas höher: Sie müssen Zeit investieren, um sich wahlweise in Blender oder in OpenSCAD einzuarbeiten. Will sich Open Source hier aus der Nische befreien, dann müssten die entsprechenden Programme vor allem die Einstiegshürde senken. (kkf) ■



Weitere Infos und interessante Links

www.lm-online.de/gr/45264