

# Technik: 3D-Drucker

3D-Drucker für die Industrie unterscheiden sich deutlich von 3D-Druckern für zu Hause. Wir erklären die Unterschiede. Geräte für Privatanwender gibt's im Handel ab 375 Euro.

**M**an kann heute kaum eine Zeitung aufschlagen, ohne auf einen Artikel über 3D-Drucker zu stoßen. Dabei wird oft ungenügend differenziert, und beim Leser entsteht der Eindruck, ein Bausatz-Heimdrucker sei zu denselben Leistungen fähig wie ein Industriegerät.

Der folgende Artikel erklärt, wie 3D-Druck mit unterschiedlichsten Materialien funktioniert, welche Verfahren auch im Privatbereich praktikabel sind und was sich mit dem eigenen 3D-Drucker tatsächlich anfangen lässt

Das Spektrum an 3D-Objekten, die sich auf Geräten ausdrucken lassen, die für Privatanwender erschwinglich sind, ist dabei kaum noch zu überschauen. Es reicht vom simplen Schlüsselanhänger (Bild A) über individuelle Brettspiele samt Figuren (Bild B) bis hin zu komplexen Miniaturmaschinen (Bild C).



**Karabiner:** Funktionsfähig, etwa als Schlüsselanhänger (Bild A)

## 3D-Druckverfahren

Eines haben alle 3D-Druckverfahren gemeinsam: Das herzustellende Objekt wird zuerst als Modell im Computer in dünne Schichten zerlegt, quasi in 2D-Schnitte des Körpers. Diese Schnitte zeichnet der Druckkopf dann Schicht für Schicht übereinander, so als würde man eine Salami aus einzelnen Scheiben zusammensetzen. Dabei gibt der Druckkopf entweder direkt das Baumaterial ab, verwendet ein Bindemittel oder zeichnet das Muster mit einem Laser- oder Elektronenstrahl ins Material.

### Additive Layer Manufacturing (ALM)

Die unter dem Begriff Additive Layer Manufacturing (Schichtbauverfahren) zusammengefassten Verfahren verwenden als Basismaterial feine Pulver, die in hauchdünnen Lagen jeweils auf die gesamte Druckfläche ausgebracht werden. Dann zeichnet der Druckkopf die unterste Schicht des zu druckenden

Körpers in das Pulver. Die einzelnen Pulverpartikel werden dabei auf der Strecke, die der Druckkopf zurücklegt, miteinander verbunden.

Anschließend senkt sich die Druckfläche um die Dicke einer weiteren Lage ab, neues Pulver wird aufgetragen und der Druckkopf erzeugt die nächste Schicht.

Dabei verbindet er die Pulverpartikel diesmal auch mit der darunter liegenden Schicht. Das Ganze wiederholt sich, bis alle Schichten des Softwaremodells abgearbeitet sind und das Objekt fertiggestellt ist.

Dieses befindet sich nun im Druckraum des Druckers, begraben unter Pulver. Um es freizulegen, wird das überschüssige Pulver mit einem speziellen Staubsauger entfernt. Es kann gesiebt und für den nächsten Druck verwendet werden. Das Objekt wird mit Druckluft gereinigt und nötigenfalls im Härteofen nachbehandelt. Dann kann es, je nach Material und Zweck, zum



**Cyvasse:** Schachvariante aus einem Roman, in 3D gedruckt (Bild B)

## Inhalt

### Technik: 3D-Drucker

#### ■ 3D-Druckverfahren

Additive Layer Manufacturing	S. 108
Stereolithografie	S. 109
Fused Deposition Modeling	S. 109

#### ■ 3D-Druck zu Hause

Einsatzgebiete	S. 111
Modelle	S. 112
Fertigdrucker	S. 112
Bausatzdrucker	S. 113
3D-Drucker leihen	S. 114

#### ■ 3D-Druck online

Mini-Me	S. 114
3D-Dinge von Shapeways	S. 115
3D-Druck aus Berlin	S. 115

#### ■ Zusatz-Infos

Auswahl: 3D-Drucker bis 1500 Euro	S. 110
3D-Druck: Software	S. 110
3D-Druck: Scanner	S. 113
Filament-Extruder: Günstiges Material	S. 115

Beispiel bemalt oder weiter bearbeitet werden.

Als Material für ALM-Verfahren kommt praktisch alles in Frage, was sich pulverisieren lässt. Verschiedenste Kunststoffe, Gips, Sand, Glas, Keramik, Aluminium, Gold, Stahl und andere Metalle werden heute bereits verarbeitet. Zur Verarbeitung von Kunststoff und mineralischem Material kommen überwiegend Druckköpfe zum Einsatz, die Tintenstrahlern ähneln und ein Bindemittel, eine Art Klebstoff, absondern. Metalle werden dagegen durch einen Laser- oder Elektronenstrahl aus dem Druckkopf versintert oder verschmolzen.

Neben der so erzielbaren hohen Auflösung liegt ein Hauptvorteil der ALM-Verfahren darin, dass das Pulverbett überhängende und filigrane, abstehende Strukturen automatisch abstützt. Bei anderen Verfahren müssen solche Strukturen durch mitgedruckte Stützen, sogenannte Supports, abgestützt werden, damit sie sich vor dem endgültigen Aushärten nicht noch verformen.

Eingesetzt werden ALM-Drucker vor allem in der Industrie, aber auch in der



**Transmissionsmaschine:** Die Teile des automatischen Getriebemodells müssen nach dem Druck nur noch zusammengesteckt werden (Bild C)

Forschung, in Museen oder von Dienstleistern, die 3D-Drucke im Kundenauftrag fertigen. Neben dem Platzbedarf machen Preise von mehreren Zehn- bis Hunderttausend Euro diesen Drucker-typ für Privatanwender unattraktiv.

### Stereolithografie (STL)

Bei der Stereolithografie und verwandten Verfahren dienen Fotopolymere als Ausgangsmaterial für den 3D-Druck. Das sind flüssige Kunststoffe, die unter dem Einfluss von UV-Licht härten. Der Druckraum ist dabei komplett mit flüs-

sigem Polymer gefüllt, als Druckfläche dient eine siebartige Platte, die sich lagenweise im Kunststoffbad absenkt.

Der Druckkopf enthält einen Laser, mit dem er den Umriss der aktuellen Modellschicht auf die Oberfläche der Flüssigkeit projiziert. Danach senkt sich die Druckfläche um eine Lage ab, eine Rakel streicht die Oberfläche glatt, und die nächste Objektschicht wird projiziert. Die fertigen Objekte müssen danach noch in einer Belichtungskammer ausgehärtet werden.

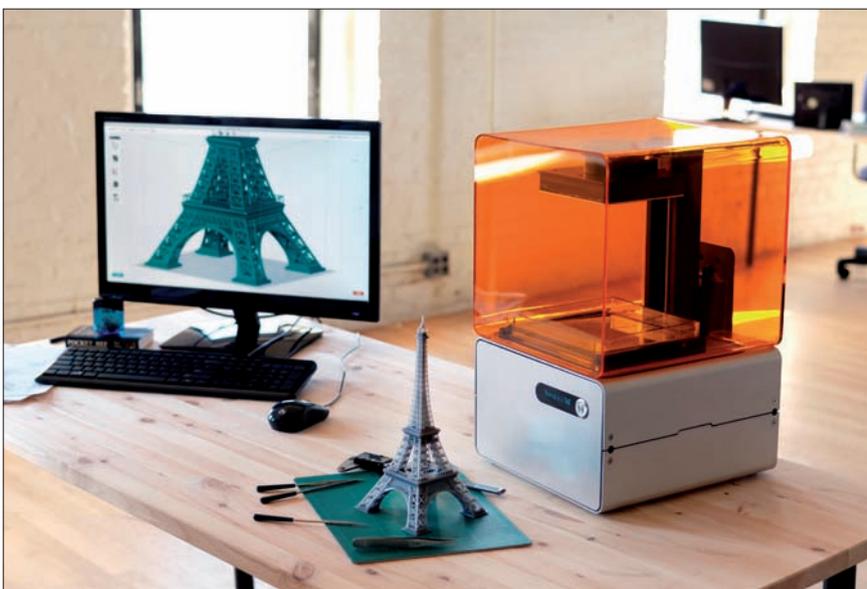
Nach dem gleichen Prinzip funktioniert das Digital Light Processing, nur dass hier statt des Lasers ein DLP-Projektor zum Einsatz kommt, wie er auch in Videoprojektoren verwendet wird.

Auch die Fotopolymer-gestützten Druckverfahren zeichnen sich durch hohe Genauigkeit aus und die Drucker benötigen im Allgemeinen weniger Platz als ALM-Geräte. Allerdings lagen die Preise bisher außerhalb der Reichweite privater Anwender. In den letzten Jahren sind jedoch mehrere Patente abgelaufen, was einige Start-ups veranlasste, Crowdfunding-Projekte für STL-Drucker ins Leben zu rufen.

Jüngstes Beispiel ist die Firma Formlabs, die mit ihrem Drucker Form 1 für 3300 Dollar Stereolithografie zwar nicht gerade auf jeden Schreibtisch bringt, aber doch für semiprofessionelle Anwendungen erschwinglich macht. Beim Form 1 sitzt der Druckkopf unter dem Flüssigkeitsbehälter, die Druckfläche wandert Schicht für Schicht nach oben und zieht das Druckobjekt dabei mit, was das Rakeln erspart (Bild D).

### Fused Deposition Modeling (FDM)

Bereits vollständig im Heimbereich angekommen ist das Fused Deposition Modeling, manchmal auch als Schmelzschichtung bezeichnet. Der Begriff bezieht sich auf die Funktionsweise des Druckkopfs, der wie eine Mini- ▶



**STL-Drucker:** Der 3D-Drucker Form 1 ist mit einem Grundpreis von 3300 Dollar in den Vereinigten Staaten der derzeit erschwinglichste STL-Drucker (Bild D)

3D-Druck: Software

Um einen Körper in 3D drucken zu können, muss er zunächst zerlegt werden – wenn auch nur digital.

Der erste Schritt zum gedruckten Objekt führt über eine Design-Software. Dabei kann es sich um ein CAD-Programm handeln, ein 3D-Grafikprogramm wie Blender oder eine Sculpting-Software. Wichtig ist, dass das Programm seine Ergebnisse im STL-Format exportieren kann, das sich als Standardformat im Umgang mit 3D-Druckern etabliert hat.

Im zweiten Schritt wird die STL-Datei vom eigentlichen 3D-Druckprogramm in druckerspezifischen Code umgewandelt, der den Druckvorgang steuert. Diese Programme sind meist kostenlos und werden mit dem Drucker geliefert oder können als Open Source beziehungswei-

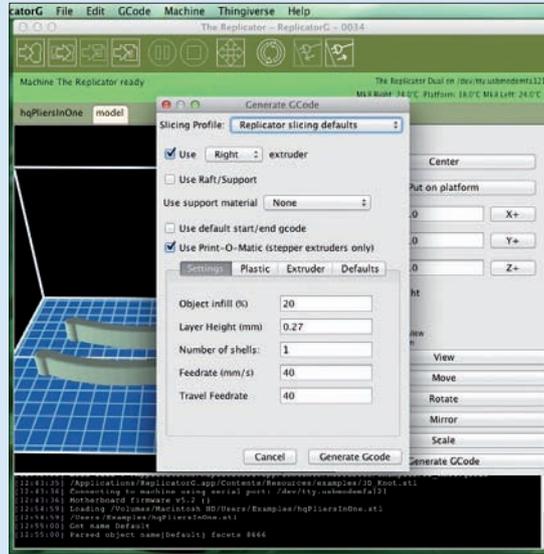
se Freeware heruntergeladen werden. Nach dem Laden einer STL-Datei richtet man darin

das Objekt auf der Druckfläche aus und kann es beispielsweise skalieren, rotieren oder vervielfältigen.

Außerdem werden in der Software die nötigen Vorgaben wie Schichtdicke oder Druckkopf Temperatur eingestellt. Sind alle Einstellungen zur Zufriedenheit vorgenommen, tritt ein sogenannter Slicer in Aktion, der das Modell in die zu druckenden Schichten zerlegt (Bild E).

Anschließend berechnet das Programm die Pfade für den Druckkopf und legt den Steuercode in einer Datei ab – oder es übermittelt ihn direkt an den Drucker.

**Slicing:** Eine druckerspezifische Software zerlegt das 3D-Modell in einzelne Schichten und erzeugt daraus Steuercode, den der Drucker versteht (Bild E)



Heißklebepistole einen kontinuierlich zugeführten Kunststoff (zum Beispiel als Stick oder Filament) bis zum Schmelzpunkt erhitzt und das dann flüssige Plastik durch eine Düse drückt.

Zur Achsensteuerung haben sich inzwischen unterschiedliche Modelle herausgebildet. So kann es sein, dass der Druckkopf sich nur in einer Ebene bewegt, während die Druckfläche sich nach jeder gedruckten Schicht absenkt. Es gibt aber auch Drucker, bei denen die Druckfläche statisch ist und der Druckkopf sich in allen drei Achsen bewegt. Auch beim Antrieb existieren un-

terschiedliche Verfahren. Zwar arbeiten nahezu alle Consumer-Drucker mit üblichen Schrittmotoren, für die Kraftübertragung werden aber je nach Konstruktion Zahnriemen, Zahnstangen oder andere Verfahren eingesetzt.

Außerdem konkurrieren offene Modelle mit geschlossenen Konstruktionen. Eine geschlossene Bauform hat den Vorteil, dass sie Feinstaub, Dämpfe und Ausdünstungen, die beim Plastikschnmelzen entstehen, zurückhält. Allerdings entstehen so im Innenraum höhere Temperaturen, die sich nachteilig auf den Druck auswirken können.

Als Material kommen zu Hause vorwiegend PLA und ABS zum Einsatz. PLA ist ein kompostierbarer Kunststoff, dessen Schmelzpunkt bei etwa 160°C liegt. ABS schmilzt erst bei zirka 225°C, ergibt aber robustere Endprodukte. Es wird industriell etwa zur Fertigung von Fahrradpedalen eingesetzt. Allerdings erreicht gedrucktes ABS nur etwa 30 Prozent der Belastbarkeit von industriell im Spritzgussverfahren verarbeiteten ABS.

Findige Köpfe entwickeln darüber hinaus zunehmend Spezialfilamente, die auch Heimanwendern den Druck mit

Auswahl: 3D-Drucker bis 1500 Euro

Modell	Hersteller	Vertrieb	Preis	Bausatz/ Fertigerät	Maximale Objektgröße	Auflösung (Schichtdicke/ Düsendurchmesser)	Material
EX1-Basic	Freesculpt	Pearl	rund 800 Euro	Fertigerät	225x145x150 mm	0,15 bis 0,4 mm / 0,4 mm	ABS
Cube 2	3D Systems	Konstruktionswerk	rund 1430 Euro	Fertigerät	140x140x140 mm	0,2 mm / keine Angabe	ABS, PLA (Cartridges)
Up Plus 2	PP3DP	Nodna	rund 1490 Euro	Fertigerät	140x140x135 mm	0,15 bis 0,4 mm / keine Angabe	ABS, PLA
Builder	3Dprinter4u	iGo3D	rund 1490 Euro	Fertigerät	220x210x175 mm	0,15 bis 0,4 mm / keine Angabe	PLA
Makibox LT	Makible	3dDinge.de	ab 375 Euro	Bausatz	150x110x90 mm	keine Angabe / 0,4 mm	PLA
K8200	Velleman	Reichelt Elektronik	rund 700 Euro	Bausatz	200x200x200 mm	0,2 bis 0,25 mm / 0,5 mm	ABS, PLA
Protos V2	Open Source	German Reprap	rund 800 Euro	Bausatz	230x230x125 mm	keine Angabe / 0,5 mm	ABS, PLA, PS, PVA

anderen Werkstoffen als Plastik ermöglichen sollen. Laywood heißt ein Filament, das zu 40 Prozent aus recyceltem Holz besteht und nach dem Drucken und Aushärten tatsächlich holzähnliche Eigenschaften aufweist. Auch transparente Filamente und solche, die gummi- oder sandsteinähnliche Oberflächen bilden, sind erhältlich.

Filament wird meist auf 1-kg-Spulen vertrieben und kostet je nach Sorte, Eigenschaften und Anbieter zwischen 20 und 40 Euro pro Kilo. Für Spezialfilamente kann der Preis jedoch schnell bis auf 80 oder sogar über 100 Euro pro Kilo klettern.

FDM-Drucker gibt es als Fertiggeräte oder Bausatz. Wer den Selbstbau nicht scheut, kann sogar ein Gerät nach Open-Source-Plänen aus Teilen konstruieren, die er im Keller findet.

## 3D-Druck zu Hause

Dass es inzwischen auch fertig aufgebaute 3D-Drucker – also keine Bausätze – zu Preisen gibt, die ins Budget eines ambitionierten Heimanwenders passen, sollte einen nicht zu der Annahme verleiten, es handle sich bereits um echte Plug-and-Play-Angebote. Direkt aus der Verpackung ist eigentlich kein Gerät in der Lage, perfekte Ergebnisse zu liefern. Die bauähnlichen Modelle Cube und Up Plus kosten knapp 1500 Euro. Sie verfügen bisher als einzige



**Cube:** Der 3D-Drucker bewegt seinen Druckkopf nur entlang des oberen Balkens, die Plattform fährt die beiden anderen Achsen ab (Bild F)

Consumer-Produkte über eine vollautomatische Kalibrierung, die das Drucken auf Knopfdruck ermöglichen soll (Bild F).

Das Mindeste, was der Anwender sonst vor jedem Druck selbst vornehmen muss, ist eine passgenaue Kalibrierung der Z-Achse, also die Einstellung des richtigen Abstands zwischen Druckkopf und Druckfläche. Dazu ist in der Regel eine Stellschraube so anzuziehen, dass sich ein normales Blatt Papier gerade noch zwischen die beiden Komponenten schieben lässt.

Die nächste Hürde ist die Drucksoftware. Basiert sie auf Open-Source-Anwendungen, die der Hersteller nur an sein Gerät angepasst hat, ist die Be-

dienoberfläche oft sperrig. Außerdem ist die mit einfachen FDM-Druckern erzielbare Genauigkeit und Zuverlässigkeit noch nicht so hoch, dass jeder Druck gelingt. Ab und zu produzieren auch ausgereifte Modelle mitten im Druck plötzlich Plastikspaghetti und das Projekt muss neu gestartet werden.

Je nach Modell sind auch sonst die einzelnen Schichten oft mit bloßem Auge erkennbar, die Oberfläche ist nicht makellos glatt. Das stört nicht, wenn man praktische Gegenstände für den Haushalt wie Kabelbinder oder Tütenverschlüsse druckt. Handelt es sich dagegen zum Beispiel um Skulpturen oder Handyhüllen, ist in der Regel ein Nachbearbeiten der gedruckten Teile notwendig. Je nach Material kommen Schleifpapier oder Lösungsmitteldämpfe zum Einsatz – dabei sollte man unbedingt die erforderlichen Schutzmaßnahmen beachten.

Der Heimbereich wird derzeit klar von FDM-Druckern dominiert, die oft als Bausatz angeboten werden. Einige Bausätze und Fertiggeräte, die bei Händlern in Deutschland zu Preisen bis rund 1500 Euro erhältlich sind, finden Sie in der unten stehenden Tabelle.

## Einsatzgebiete

Während sich mit Industriedruckern inzwischen neben passgenauen und farb-rechten Modellen auch Gussformen für die Serienfertigung und sogar endbelastbare Triebwerksteile zum Prototypenbau etwa in der Flugzeugindustrie herstellen lassen, sind der Produk- ▶

Schnittstellen	Beheizte Plattform	Druckköpfe	Gehäuse / Rahmen	Zusatzausstattung	Webadresse
USB, SD-Karte	ja	1	Kunststoff / geschlossen	Drucksoftware, Werkzeug, SD-Karte, 1kg ABS, USB-Kabel, Anleitung	<a href="http://www.pearl.de/a-PV8600-1040.shtml">www.pearl.de/a-PV8600-1040.shtml</a>
WLAN, USB	nein	1	keine Angabe / offen	Software, Stromkabel, 1 Materialcartridge, 25 Projekte (Download)	<a href="http://www.konstruktionswerk.de/produkte/3d-drucker/cube-cubex-3d-drucker.html">www.konstruktionswerk.de/produkte/3d-drucker/cube-cubex-3d-drucker.html</a>
USB, SD-Karte	ja	1	keine Angabe / offen	Software (Download), Netzteil, 700 g ABS, Werkzeug	<a href="http://nodna.de/PP3DP-UP-Plus-2-3D-Drucker-betriebsfertig">http://nodna.de/PP3DP-UP-Plus-2-3D-Drucker-betriebsfertig</a>
USB	nein	1	Metall / offen	keine Angabe	<a href="http://www.igo3d.com/builder-3d-drucker-rot.html">www.igo3d.com/builder-3d-drucker-rot.html</a>
USB	nein	1	Acryl / offen	Bausatz, Netzteil	<a href="http://www.3ddinge.de/shop/product_info.php?products_id=1">www.3ddinge.de/shop/product_info.php?products_id=1</a>
USB	ja	1	Alu / offen	Bausatz, Netzteil, Werkzeug-Set	<a href="http://www.reichelt.de/?ARTICLE=132351">www.reichelt.de/?ARTICLE=132351</a>
USB	nein	1	Stahl / offen	Bausatz	<a href="https://shop.germanreprep.com/de/Protos-v2-3D-Drucker-Komplettbausatz">https://shop.germanreprep.com/de/Protos-v2-3D-Drucker-Komplettbausatz</a>

tion mit Heimdruckern noch deutlich engere Grenzen gesetzt.

Allzu filigrane oder kompliziert aufgebaute Projekte sollte man sich nicht vornehmen. Die erreichbare Auflösung liegt zwar theoretisch bereits bei unter 0,1 mm, realistisch sind aber eher 0,4 bis 0,5 mm. Auch führen allzu verwinkelte Fahrwege des Druckkopfs oft zu unerwünschten Fadenknäueln – dann hilft nur ein weiteres Optimieren des Modells.

Gute Einsatzmöglichkeiten bieten sich zum Beispiel im Modellbau, bei der Prototypenentwicklung nach eigenen Ideen oder bei der Anfertigung von Spielzeug. Auch Skulpturen lassen sich gut umsetzen, und dank der Verfügbarkeit von lebensmittelverträglichen Kunststoffen sind auch Geschirr und Küchenobjekte machbar. Großer Beliebtheit erfreuen sich zum Beispiel individuelle Plätzchenausstecher. Die gern kolportierte Idee von der Herstellung beliebiger Ersatzteile für den Haushalt scheitert hingegen oft an den verfügbaren Materialien oder den unvermeidlichen Toleranzen.

## Modelle

Nicht jeder hat Zeit und Talent genug, um sich in 3D-Design-Software einzuarbeiten. Für diesen Fall findet sich eine Fülle von druckfertigen Vorlagen im Internet. Hier haben sich einige Plattformen gebildet, auf denen Erfinder, Designer und andere 3D-Begeisterte ihre Entwürfe zusammentragen, austauschen und der Allgemeinheit gratis oder gegen Entgelt zur Verfügung stellen. Die bekannteste davon ist Thingiverse ([www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)), die 3D-Druck-Community des Herstellers Makerbot.

Bei den meisten Angeboten handelt es sich allerdings um bloße Machbarkeitsstudien oder seit Langem bewährte Plastikteile, die man auch

**Abgeschirmt:** Der von Pearl vertriebene Freesculpt EX1 hat ein rundum geschlossenes Gehäuse, das Dämpfe einfängt (Bild G)

vom Grabbeltisch im Baumarkt für einen Euro mitnehmen könnte. Um die Perlen unter den Tausenden von Objekten zu finden, kann man sich bei Thingiverse an Tags wie „Featured“ oder „Popular“ orientieren. Außerdem lässt sich nach Kategorien wie „Fashion“, „Gadgets“ oder „Household“ filtern.

## Fertigdrucker

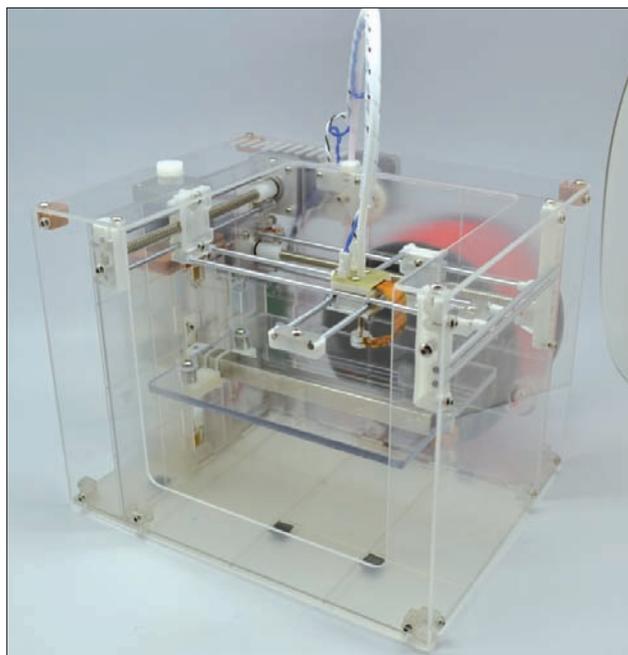
Während 3D-Drucker für die Industrie von Großunternehmen wie Stratasys und 3D Systems gefertigt werden, haben sich im Gefolge der Reprap-Welle (siehe Abschnitt „Bausatzdrucker“) zahlreiche mittelständische Start-ups gegründet, deren Finanzierung meist über Crowdfunding-Plattformen wie Kickstarter ([www.kickstarter.com](http://www.kickstarter.com)) oder Indiegogo ([www.indiegogo.com](http://www.indiegogo.com)) lief und läuft. Zwar deutet sich hier bereits wieder eine Konsolidierung an, so ist



etwa Makerbot inzwischen ein Mitglied der Stratasys-Familie und das innovative Start-up Cubify wurde von 3D Systems gekauft. Es drängen aber weitere Start-ups in den sich entwickelnden Markt. Auch derzeit befinden sich etliche neue FDM-Drucker im Prototypstadium, deren Entwicklung über Crowdfunding finanziert werden soll.

Die Kampagne für den Buccaneer ([www.kickstarter.com/projects/pirate3d/the-buccaneer-the-3d-printer-that-everyone-can-use](http://www.kickstarter.com/projects/pirate3d/the-buccaneer-the-3d-printer-that-everyone-can-use)), der im Frühjahr 2014 erscheinen soll, erzielte in 30 Tagen auf Kickstarter fast das 15-Fache der geplanten Entwicklungssumme von 100.000 Dollar. Der Hersteller verspricht ein Gerät, das nicht nur räumlich, sondern auch optisch auf den Schreibtisch passt, mit silbernem Alugehäuse unter einer Hülle aus Acrylglas. Bei einer Bauraumgröße von 15 x 10 x 12 cm soll der Drucker selbst nur 25 x 25 x 35 cm groß werden. Das Filament wird von oben aus einer Cartridge zugeführt und die Verbindung zum PC per WLAN hergestellt. Trotz fortschrittlicher Technik und komfortabler Bedienung peilen die Entwickler einen Endpreis von lediglich rund 500 Dollar an.

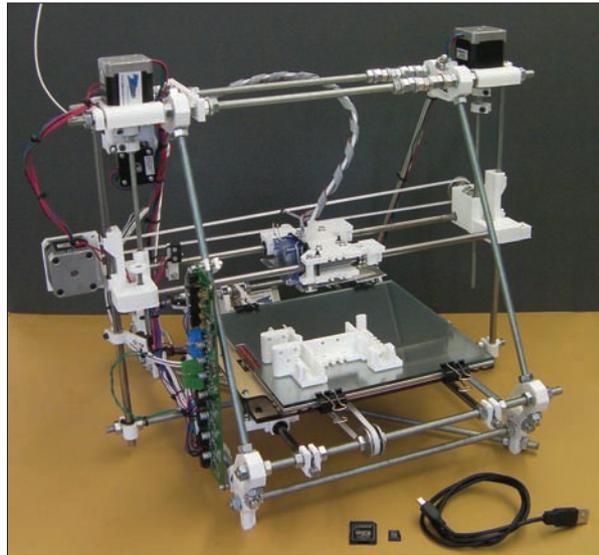
In Zukunft ist also zu erwarten, dass auch fertige 3D-Drucker die magische 500-Euro-Barriere nach unten durchbrechen. Derzeit liegt die Un-



**Selbstbau:** Die preisgünstige Makibox verarbeitet den kompostierbaren Kunststoff PLA und kommt als vormontierter Bausatz (Bild J)

tergrenze für einen komplett aufgebauten FDM-Drucker allerdings bei etwa 800 Euro. Zu diesem Preis bietet das Versandunternehmen Pearl den Free-sculpt EX1 an (Bild G), einen ABS-Drucker, der auf den ersten Blick etwas nach Playmobil aussieht. Das geschlossene Kunststoffgehäuse verbirgt das Druckwerk vollständig und schließt so auch etwaige Ausdünstungen ein. Ein Nachteil dieser Bauweise ist allerdings, dass sich der Druckraum des EX1 im Betrieb aufheizt und so das Abkühlen des Werkstücks verzögert. Dadurch kann es bei filigranen Strukturen zu ungewolltem Verzug kommen, indem die Druckkopfbewegung früher gesetzte Schichten „verwischt“, weil sie noch nicht genügend aushärten konnten.

Eine offene Bauweise wie die des Cube von 3D Systems wirkt solchem Verzug entgegen. Hier sitzt der Druckkopf an einer Art Galgen und bewegt sich nur in einer Achse, während die Druckplattform sowohl die vertikale wie die zweite horizontale Achse bedient. Der Cube schlägt allerdings mit rund 1500 Euro zu Buche. Darüber hinaus verwendet er Druckmaterial aus proprietären Cartridges, was einerseits die Zuverlässigkeit erhöhen soll, ander-



**Mendel:** Der Bausatzdrucker Reprap Pro Mendel ist ein Vertreter der klassischen Open-Source-Linie von Rapid Prototypen, die ihre eigenen Teile drucken (Bild H)

erseits aber den Zugriff auf spezielle Filamentsorten oder günstige Angebote von Drittanbietern verhindert.

### Bausatzdrucker

Sparen lässt sich nicht nur am Verbrauchsmaterial, sondern auch am Drucker selbst, wenn man das Gerät eigenhändig zusammenschraubt. Handwerkliche Fertigkeiten und im Zweifelsfall

auch Elektronik- und Lötkenntnisse sollte man aber mitbringen. Ein Bausatz, wie sie im Handel fertig zusammengestellt angeboten werden, besteht oft aus Hunderten Teilen, von Platinen und Schrittmotoren bis hin zu Muttern, Schrauben und Schräubchen. Die Pläne, etwa für den Reprap (Replicating Rapid Prototyper), der den 3D-Druck-Boom mit ausgelöst hat, sind oft Open Source, und Bauanleitungen für die verschiedensten Modelle

finden sich vielfältig im Internet (Bild H).

Der Bausatz für den Protos 2, einen Nachfolger des Ur-Reprap, kostet bei German Reprap rund 800 Euro. Dafür erhält man einen Stahlrahmen, fünf Schrittmotoren, die vormontierte Elektronik, ein Netzteil und Kleinteile wie Wellen, Lager, Gewindestangen, Antriebsriemen und Schrauben. Eine Anleitung, die den Zusammenbau und ►

## 3D-Druck: Scanner

**Wem das Konstruieren in CAD- oder 3D-Programmen zu umständlich ist, der bekommt fertige Objekte am einfachsten mit einem 3D-Scanner ins Druckprogramm.**

Um exakte Kopien beispielsweise von empfindlichen Museumsstücken herzustellen, werden Laserscanner eingesetzt, die das Werkstück rundum abtasten und die Ergebnisse in eine 3D-Software übertragen. Derartige 3D-Scanner werden inzwischen auch für den Consumer-Markt produziert, beispielsweise von Makerbot.

Mit Preisen ab etwa 1000 Euro sind sie allerdings für die nur gelegentliche Nutzung einfach zu teuer (Bild I).



**3D-Scanner:** Das Objekt wird auf einem Drehteller von zwei Laserstrahlen abgetastet, eine Kamera erfasst die Daten (Bild I)

Es geht aber auch günstiger. Mit entsprechender Software, etwa dem im Microsoft-SDK Kinect for Windows ([www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows](http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows)) enthaltenen Kinectfusion, lässt sich

zum Beispiel der Kinect-Sensor, eigentlich ein Zubehör für die Xbox-Konsole, in einen 3D-Scanner verwandeln. Auf der Internetseite des amerikanischen Magazins Make findet man sogar eine Bauanleitung für einen Ganzkörper-Scanner auf Kinect-Basis ([makezine.com/projects/guide-to-3d-printing-2014/scan-o-tron-3000](http://makezine.com/projects/guide-to-3d-printing-2014/scan-o-tron-3000)).

In Planung sind auch 3D-Drucker mit integriertem Scanner. So soll etwa das italienische Gerät Fabtotum 3D-Drucker, 3D-Scanner und CNC-Fräse in einem werden ([www.indiegogo.com/projects/fabtotum-personal-fabricator](http://www.indiegogo.com/projects/fabtotum-personal-fabricator)).

In einigen Jahren könnten derartige Multitalente das 3D-Gegenstück zum gewohnten Multifunktionsdrucker darstellen.

die Betriebsanleitung umfasst, steht online zur Verfügung.

Wer neben dem Selbstbau auch den Kauf im Ausland nicht scheut, kann oft weiteres Geld sparen, erst recht wenn er einen Bekannten hat, der bereits einen Reprap-Abkömmling besitzt. Eine Google-Suche findet nämlich besonders günstige Angebote, bei denen die Kunststoffteile nicht mitgeliefert werden, die man sich dann auf dem Drucker des Bekannten selbst ausdrückt.

Wer noch günstiger wegkommen will und über fortgeschrittene handwerkliche Fähigkeiten verfügt, kann sich auch an einem Repstrap versuchen. So nennt die Fangemeinde Reprap-Drucker, die man aus selbst zusammengesuchten Restteilen in Eigenregie konstruiert.

Neuere Entwürfe basieren zwar oft auf den Open-Source-Plänen, wollen darüber hinaus jedoch Akzente durch Innovation setzen. So versuchte sich das in Hongkong ansässige Start-up Makible mit der Makibox an einem erklärten Preisbrecher. Das Ziel war ein Desktop-3D-Drucker, der für 200 Dollar zum Endkunden gehen sollte. Inzwischen kostet die einfachste Ausführung beim deutschen Händler 3dDinge.de zwar 375 Euro, stellt damit aber immer noch ein günstiges Angebot dar (Bild J).

Beim Makibox-Bausatz sind keine Lötkenntnisse vonnöten, denn alle elektronischen Bestandteile sind vormontiert und die Verbindungen müssen nur noch gesteckt werden. Mit einer Bauraumgröße von 15 x 11 x 9 cm gehört die Makibox zu den kleinvolumigen Druckern. Auch benötigt sie nur eine Stellfläche von 29 x 23,5 cm. Geliefert wird sie mit ihrer eigenen, proprietären Drucksoftware. Die Bauanleitung findet sich auch hier online – in Form einer Reihe von Videos.

### 3D-Drucker leihen

Wer nicht gleich die Kuh kaufen will, wenn er nur ein Glas Milch braucht, findet im Internet Mietangebote für 3D-Drucker. Die Preise variieren je nach Druckermodell, bei manchen Angeboten ist Verbrauchsmaterial enthalten, bei anderen nicht.

Die Google-Suchanfrage **3D-Drucker mieten München** führt zum Beispiel zur Firma Makebox, die einen Ultimaker 3D-Drucker ab 60 Euro pro Tag beziehungsweise 300 Euro die Woche verleiht.

Noch günstiger geht es, wenn in Ihrer Nähe ein Fablab angesiedelt ist. In vielen deutschen Großstädten finden Sie diese gemeinnützigen Hightech-Werkstätten. Sie sind meist als eingetragene Vereine organisiert, mit der Zielsetzung, jedermann den Zugang zu modernen Produktionstechniken zu ermöglichen. Sie veranstalten Workshops und Seminare und lassen gegen eine Gebühr auch Nichtmitglieder an ihre Gerätschaften.



**Mini-Me:** Ein Körperdouble im Maßstab 1:20 fertigt Shapify.me für Kunden an, die einen Kinect-Sensor von Microsoft besitzen (Bild K)

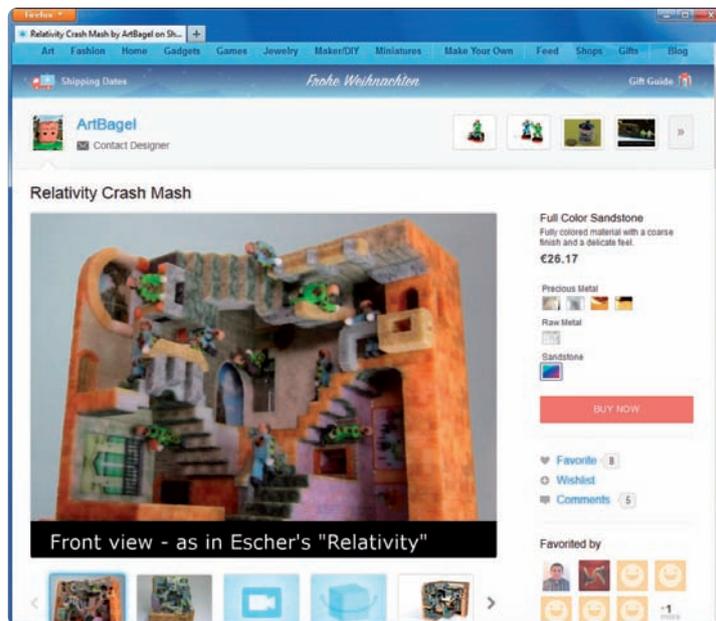
### 3D-Druck online

Auch ohne eigenen Drucker lassen sich individuelle Ideen und Entwürfe umsetzen. Findige Dienstleister haben inzwischen den 3D-Druck für jedermann als Geschäftsidee erkannt und bieten ihn via Internet an.

#### Mini-Me

Mit Twinkind ([www.twinkind.com](http://www.twinkind.com)) und Shapify.me ([www.shapify.me](http://www.shapify.me)) gibt es gleich zwei Unternehmen, bei denen man einen Mini-Klon von sich selbst drucken lassen kann.

Während die erstaunlich detaillierten Gips-Kunststoff-Modelle von Twinkind jedoch ein persönliches Vorsprechen in Hamburg erfordern und zwischen 225 und knapp 1300 Euro kosten, fertigt Shapify.me jedem Kinect-Besitzer sein dreidimensionales Abbild bereits für 60 Dollar (Bild K). Außerdem kann man dafür zu Hause bleiben und muss lediglich eine Software herunterladen, die den Kinect-Sensor in einen 3D-Scanner verwandelt. Damit scannt man nach Anleitung sich selbst oder Freunde, lädt die Daten hoch und bestellt sein Mi-



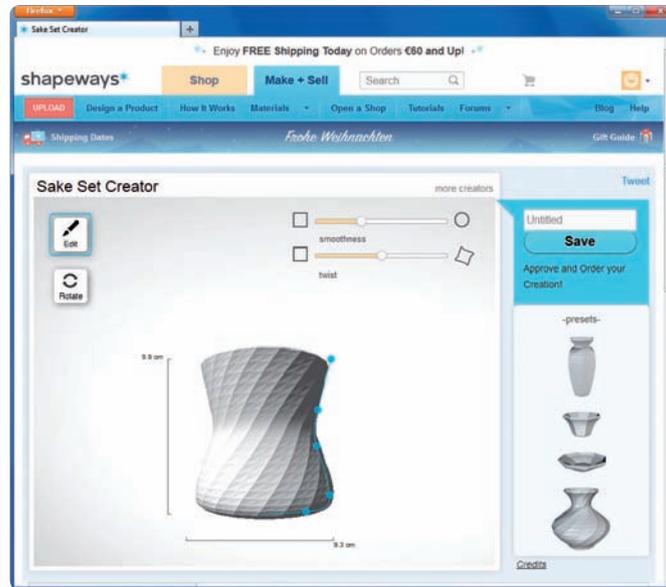
**Shapeways:** Der weltweite Service bietet ein großes 3D-Sortiment zum Drucken in verschiedenen Materialien an. Die Vorlagen werden von den Benutzern erstellt (Bild L)

ni-Me im Format 1:20. Hergestellt wird die Figur aus farbigem Plastik im Laser-Sintering-Verfahren.

### 3D-Dinge von Shapeways

Shapeways, mit Niederlassungen in den USA und Holland, ist wahrscheinlich der größte Anbieter von 3D-Druck-Services für Privatpersonen und liefert 3D-Drucke weltweit. Das Angebot umfasst sechs Milliarden Artikel – die riesige Zahl ergibt sich aus der Anzahl der verfügbaren Modelle malgenommen mit Optionen zur Individualisierung sowie den jeweils verfügbaren Materialien (Bild L).

Der Kunde kann aber nicht nur aus diesem gigantischen Sortiment auswählen, sondern auch eigene Designs hochladen oder mit Design-Apps auf der Webseite interaktiv entwerfen (Bild M). Ein breites Materialangebot von diversen Kunststoffen über Sandstein und Keramik bis zu Stahl, Bronze und Sterlingsilber erlaubt es, auch ehrgeizige Entwürfe umzusetzen. Außerdem



**Gestalter-Apps:** Mit einfachen Web-Apps lassen sich diverse Gegenstände wie Ringe oder individuelles Sake-Geschirr direkt im Browser gestalten (Bild M)

gibt es eine Community, von der man sich im angebotenen Forum Tipps und Unterstützung holen kann.

Eigene Entwürfe lassen sich privat nutzen oder im Shop auch anderen anbieten. Dabei entscheidet der Designer, wie viel er an seinem Modell verdienen will. Dazu kommen die volumenabhängigen Material- und Druckkosten – der Endpreis wird sofort angezeigt. Shapeways kümmert sich um Herstellung,

Versand und Zahlung und überweist Gewinnanteile monatlich aufs Paypal-Konto des Designers.

### 3D-Druck aus Berlin

Mit Trinckle (www.trinckle.com) versucht ein deutsches Start-up aus Berlin, dem Giganten Shapeways regional Konkurrenz zu machen. Auch hier lassen sich eigene Entwürfe hochladen, in verschiedenen Materialien als Druck in Auftrag geben oder anderen Kunden zum Bestellen anbieten. Die Auswahl, sowohl an Modellen als auch an verfügbaren Materialsorten, fällt hier allerdings noch um einiges be-

scheidener aus als beim Branchenprimus. ■

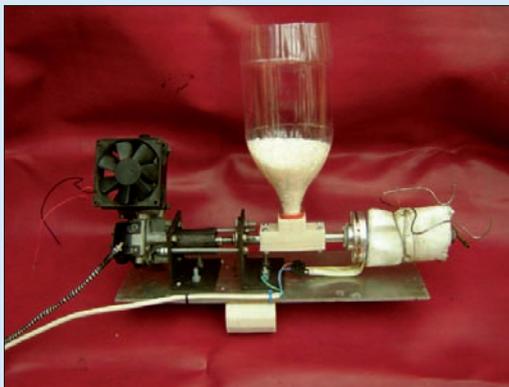
Charles Glimm  
computer@com-magazin.de

#### Weitere Infos

- <http://3druck.com>  
Das Online-Magazin berichtet aktuell über 3D-Druck und Rapid Prototyping

## Filament-Extruder: Günstiges Material

Während Filament auf Spulen 20 Euro oder mehr pro Kilo kostet, kann man ABS-Pellets, Plastikgranulat, im Handel bereits ab etwa 4 Euro pro Kilo finden.



Einige in der Reprap-Szene wurden früh auf den Preisunterschied zwischen fertigem Filament und Plastikgranulat aufmerksam. Sie begannen an Maschinen zu arbeiten, mit denen man sein eigenes Filament kostengünstig aus Granulat herstellen kann: Der Pellet-Extruder war geboren (Bild N). Unter [www.thingiverse.com/thing:34653](http://www.thingiverse.com/thing:34653) sind die Pläne für den sogenannten Lyman Extruder als Open Source frei verfügbar. Sie sollen Bastler in die

**Filament-Extruder:** Mit einem Gerät, das Pellets oder recycelbare Plastikabfälle einschmilzt, durch eine Düse drückt und auf Spulen wickelt, stellen Fans ihr eigenes Filament her (Bild N)

Lage versetzen, das Gerät zu Materialkosten von unter 100 Dollar nachzubauen.

Das Magazin Make bietet auf seiner Seite <http://makezine.com/projects/guide-to-3d-printing-2014/diy-filament-extruder> ebenfalls eine Bauanleitung für einen Filament-Extruder, den Filabot Wee, an. Der Extruder soll für ABS und PLA gleichermaßen geeignet sein.

Auch für die Makibox (siehe Seite 114) hatte Makible eine Recycling-Einheit namens Ramen geplant, die mit Pellets befüllt werden und dann ihr selbst erzeugtes Filament direkt in den Drucker einspeisen sollte. Wegen Verzögerungen in der Entwicklung des eigentlichen Druckers wurde das Projekt zunächst auf Eis gelegt. Angekündigt wird Ramen im Shop aber weiterhin zum Preis von 150 Dollar.