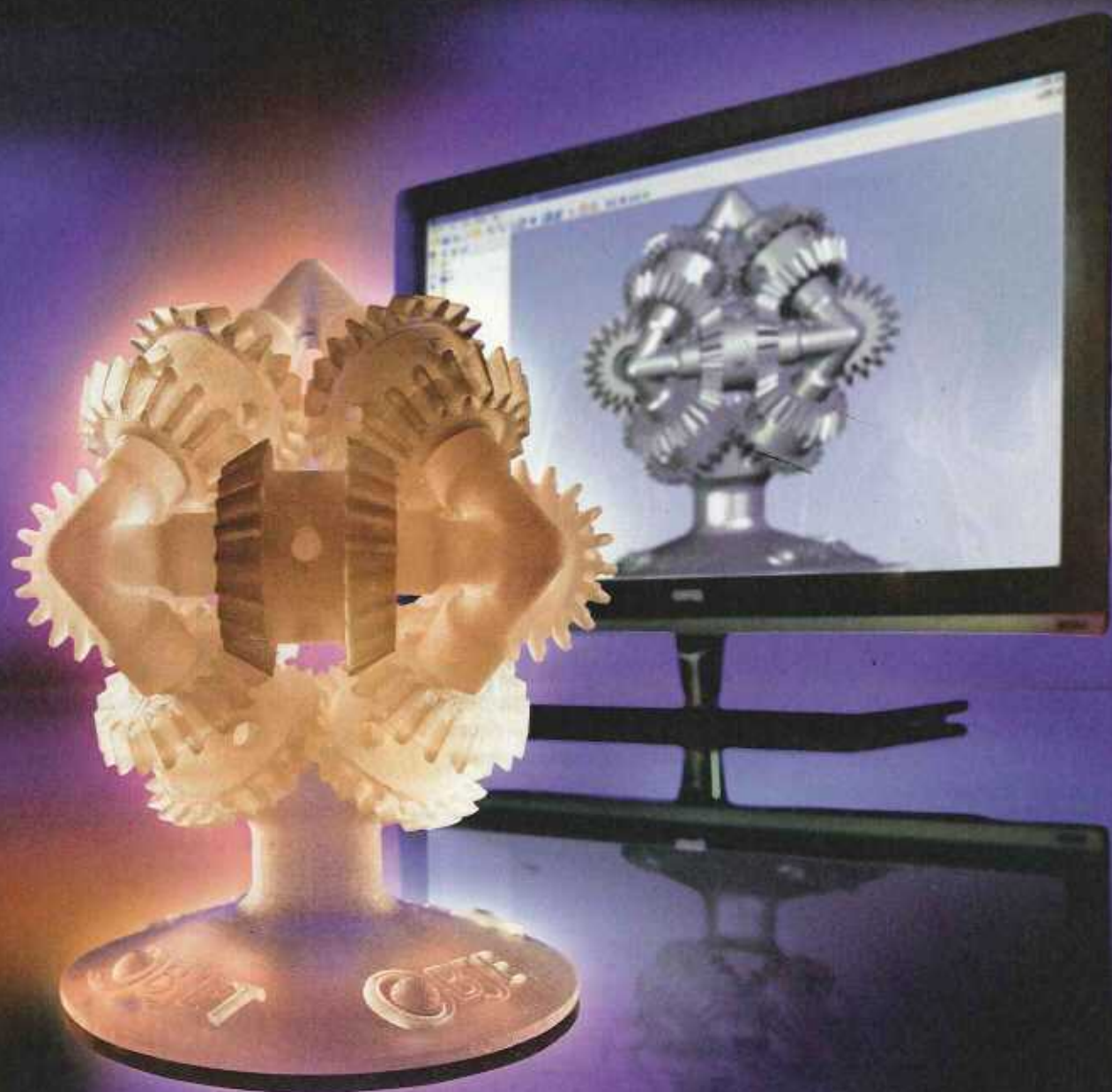


Peter König, Achim Barczok

Ideen materialisieren

Webdienste fertigen Objekte nach Ihren 3D-Entwürfen

Der Bastler des 21. Jahrhunderts konstruiert 3D-Modelle am PC, schickt sie per Internet zu einem Dienstleister und holt die fertigen Teile wenige Tage später aus dem Briefkasten. Alles passt perfekt, und in den Finger sägt man sich dabei garantiert nicht.



Ein Brain Gear ist eine Konstruktion aus 12 Achsen und 24 paarweise gekoppelten Kegelzahnradern – und eigentlich zu gar nichts nütze. Trotzdem dient es einer ganzen Branche als dreidimensionale Visitenkarte. Hersteller von 3D-Druckern platzieren solche Brain Gears prominent auf ihren Messeständen – als Hingucker und viel mehr noch als Hingreifer: Dreht man eines der Zahnräder, drehen sich alle anderen mit (ein Video davon finden Sie über den c't-Link am Ende des Artikels).

Diesem ersten Aha-Effekt folgt der zweite auf dem Fuß, wenn man erkennt, dass der 3D-Drucker das Gebilde in einem Stück erzeugt hat: Die aufgefädelten Zahnräder werden parallel zu den starren Achsen aufgebaut, durch einen genügend großen Spalt getrennt, damit am Ende kein Rad stillsteht. Die 3D-Drucktechniken produzieren solche freischwebenden Komponenten problemlos. In der Industrie nutzt man solche Verfahren schon länger bei der Entwicklung von Prototypen [1]. Da die Druckmaterialien in-

Dinge drucken in 3D

Interview mit dem 3D-Puzzlegestalter Oskar van Deventer
Eigenkonstruktionen für den 3D-Druck mit SketchUp entwickeln
Rechtliche Untiefen rund um den 3D-Druck

Seite 95

Seite 96

Seite 102

zwischen den Belastungen des alltäglichen Gebrauchs gewachsen sind, werden auch schon Kleinserien im 3D-Druck produziert.

Die Technik ist nicht nur für Fabrikanten und Forscher interessant, sondern beflügelt eine wachsende Szene von Hobby-Designern, die emsig freie 3D-Objektdatenbanken wie Thingiverse füttern, mit druckbaren Modellflugobjekten, Uhrwerken, Spielsteinen, Büsten amerikanischer Fernsehmoderatoren und Teilen für Eigenbau-3D-Drucker. Der holländische Puzzle-Designer Oskar van Deventer entwickelt bizarre Mutationen des klassischen Rubik's Cube speziell für die Produktion in 3D-Druckverfahren und vertreibt sie

übers Web (siehe Interview auf S. 95). Einige seiner Puzzles wären in klassischen Techniken wie dem Spritzguss schlicht nicht herstellbar.

Der 3D-Druck schließt zudem noch eine praktische Versorgungslücke. Zerbricht beispielsweise das Gelenk einer 50-Euro-Stehlampe und der Hersteller liefert keine Ersatzteile, konnte man sich früher entweder selbst ein Provisorium zusammenschustern oder beim Schlosser um die Ecke ein neues Gelenk anfertigen lassen und dafür mehr als für eine neue Lampe bezahlen. Jetzt gibt es einen dritten Weg: Man konstruiert das Gelenk am Computer und gibt es bei einem 3D-

Technik, Material, Maschinen

3D-Druckmaschinen arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien, aber alle bauen das gewünschte Objekt in horizontalen Schichten auf. Jede Schicht verbindet sich fest mit der jeweils darunter liegenden, sodass nach und nach ein stabiles Objekt in die Höhe wächst. Die Schichtdicke beträgt je nach Verfahren, Material und Maschine zwischen einigen zehn Mikrometern und einem Viertelmillimeter und bestimmt die vertikale Auflösung. Die Auflösung in Länge und Breite innerhalb einer Schicht kann davon deutlich abweichen – bei vielen Verfahren zeichnet der Druckkopf Umriss und Füllung der jeweiligen Horizontalscheibe des Objekts auf Vektorbasis, ähnlich wie bei einem Stiftplotter.

Detaillierte Modelle aus Kunststoff mit glatter Oberfläche erzielt man bei der **Stereolithografie**. Das Werkstück entsteht in einem Becken voll flüssigem Kunstharz, das bei Beschuss mit UV-Laserlicht punktuell aushärtet. Zu Beginn wird nur der Boden des Beckens mit Kunstharz benetzt, nach Belichten der ersten Schicht wird dann der Füllstand im Becken um eine Schichtdicke erhöht und der Fokus des Lasers korrigiert. Da das flüssige Kunstharz überhängende, ausgehärtete Teile nicht trägt, muss beim Druck eine Stützstruktur aus einem zweiten Material angelegt werden, die später entfernt wird. Stereolithografiemaschinen stellen beispielsweise die Firmen 3D-Systems und Objet her. Das Objekt auf unserem Titelbild wurde auf einer Objet-Maschine gedruckt, die lichtdurchlässiges Material verarbeiten kann. Der Hersteller hat außerdem ein Verfahren namens **PolyJet** entwickelt, bei dem Modelle in einem Rutsch aus

verschiedenen Materialien gedruckt werden können.

Sowohl Kunststoffe als auch Metall kann man über **Lasersintern** in Form bringen. Ein Schieber verteilt das Rohmaterial in Pulverform in Schichtdicke auf dem Drucktisch, danach erhitzt ein Laser jene Stellen, die Objekt werden sollen, und schmilzt die Kör-



Eine Maschine des Herstellers EOS produzierte diese Miniatur der Dresdner Frauenkirche im Lasersinterverfahren.

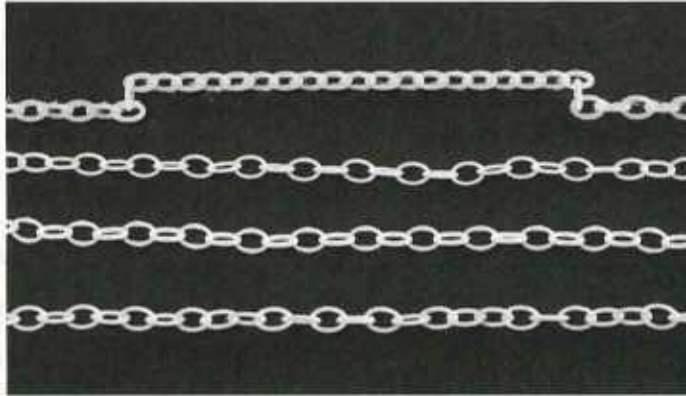
ner des Materials dort zusammen. Anschließend zieht der Schieber eine neue Pulverschicht über die vorige. Im Unterschied zur Stereolithografie trägt das nicht verbackene Rohmaterial auch vorspringende Teile, sodass das Verfahren ohne zweites Stützmaterial auskommt. Die fertigen Modelle werden aus einem großen Haufen unverdruck-

tem Material herausgebürstet und haben oft eine raue Oberfläche, sind allerdings in der Regel elastischer und stabiler als stereolithografisch hergestellte Objekte. Spezialist für Lasersintermaschinen ist der Hersteller EOS.

Unter **3D-Druck** im strengen Sinn versteht man eine Art Kreuzung zwischen Lasersintern und dem herkömmlichen 2D-Druck mit einem Tintenstrahler: Der Mehrfarb-Druckkopf verteilt farbige Tinte auf einer dünnen Schicht aus gipsähnlichem Pulver. Beigemischtes Bindemittel lässt die bedruckten Stellen aushärten. Fertige Modelle werden nachträglich mit Kunstharz getränkt, um sie zu stabilisieren. Wie Lasersintern kommt auch der 3D-Druck ohne zusätzliches Stützmaterial aus. Die Oberfläche ist rau, das Material recht schwer und spröde. Für 3D-Farbdruckmaschinen hält die Z Corporation ein Patent.

Beim sogenannten **Fused Deposition Modeling** wird geschmolzener Kunststoff aus einer Düse gedrückt, die schichtweise die gewünschte Form mit einem Strich aus weichem Plastik zeichnet. Als Material kommt meist ABS-Kunststoff zum Einsatz. Viele 3D-Drucker für Bastler wie RepRap, RapMan oder die Bausätze von MakerBot Industries arbeiten nach diesem Verfahren [2]. Professionelle Maschinen für Fused Deposition Modeling stammen beispielsweise von Stratasys und werden von HP unter eigenem Namen vertrieben. Diese Maschinen drucken aus einer zweiten Düse Stützkonstruktionen, sodass auch Modelle mit Überhängen möglich sind. Die einzelnen Schichten sind etwa einen Viertelmillimeter dick und bei den fertigen Objekten deutlich sichtbar.

Bei der Testkette von fabberhouse hafteten die einzelnen Glieder aneinander und mussten per Hand voneinander gelöst werden. Die Polyamidketten von i.materialise, Sculpteo und Shapeways wurden voll beweglich geliefert.



Druckdienst im Internet im Auftrag, was bei guter Planung günstiger als der Schlosser ist und dazu noch eine Menge Spaß macht. Wir haben vier solcher 3D-Druckdienstleister ausprobiert, die sich explizit an Privatkunden richten: fabberhouse, i.materialise, Sculpteo und Shapeways.

Kleingedrucktes

Um selbst eine brauchbare 3D-Druckvorlage zu konstruieren, braucht man weder ein teures CAD-Programm noch eine Ausbildung zum technischen Zeichner – die kostenlose Software SketchUp tut es auch. Wie das geht, beschreibt ausführlich unser Artikel ab Seite 96.

Ein paar Randbedingungen gilt es dabei allerdings zu beachten. So gibt es in Abhängigkeit von Maschine und Druckverfahren feste Obergrenzen für die Größe eines einzelnen Objekts. Während online bei fabberhouse schon bei gut 20 cm × 20 cm × 15 cm Schluss ist, fertigt i.materialise bis zu 2,10 Meter lange Objekte am Stück. Weitere Vorgaben betreffen Mindestwandstärken und Mindestspaltmaße, damit beweglich geplante Teile im Druck nicht versehentlich miteinander verbacken. Aus manchen Materialien lassen sich überhaupt keine beweglichen Konstruktionen herstellen.

Für mehrfarbige oder mit Texturen überzogene Objekte nutzen alle Druckdienste Maschinen von Z Corporation, die ein spezielles Pulver verarbeiten, das beim Druck eingefärbt wird. Alle anderen Materialien gibt es nur homogen und einfarbig, egal, welches Verfahren sie in Form bringt. Das Standard-Dateiformat fürs Hochladen von einfarbigen Modellen ist STL, was je nach Lesart für Standard Triangulation Language oder Surface Tessellation Language steht. Alle Dienstleister im Test nehmen STL-Vorlagen entgegen. Für den Farbdruck packt man Texturen und die eigentliche Geometriedatei in ein ZIP- oder RAR-Archiv. Das übliche Format ist hier der bereits etwas betagte VRML-Standard, Shapeways akzeptiert auch dessen Nachfolger X3D. Sculpteo und i.materialise kommen auch mit dem proprietären Dateiformat von SketchUp klar.

Die Bestellung dauert in der Regel nur wenige Minuten: Man legt ein Benutzerkonto

an und lädt sein 3D-Modell hoch. Drei der getesteten Dienstleister prüfen es automatisch auf typische Modellierfehler. Besteht das Modell diesen Test, kann man anschließend ein Material auswählen, unter Umständen noch die Größe verändern und bekommt dann einen Preis angezeigt. Ist der akzeptabel, klickt man das Modell in den Warenkorb, bezahlt die Bestellung vorab per Kreditkarte oder PayPal und bekommt nach einigen Tagen das fertige Objekt gut verpackt ins Haus geschickt.

Prüfsteine

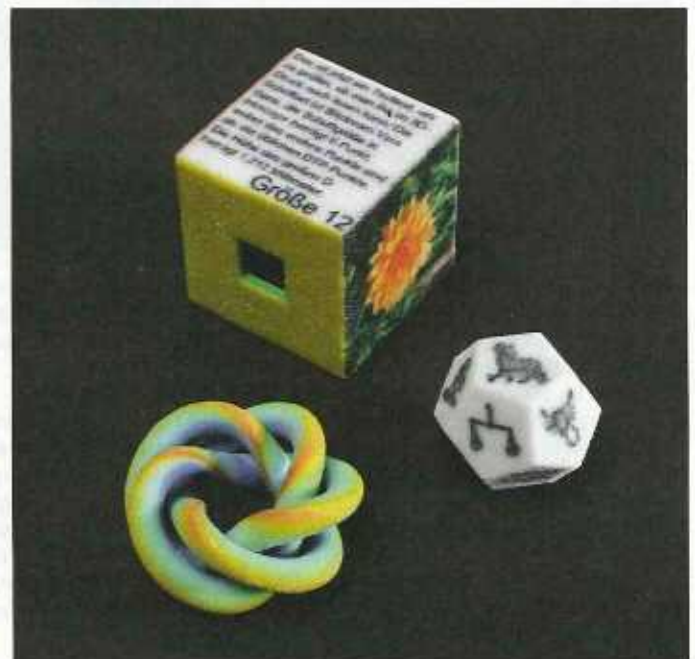
Für einen realistischen Test haben wir eine Reihe von nützlichen, dekorativen und schwierigen Probestücken bei den vier Druckdiensten fertigen lassen. Einige Objekte haben wir mit SketchUp selbst konstruiert (Download über den c't-Link am Ende des Artikels). Ob der 3D-Drucker die vorgegebenen Maße einhält, prüften wir anhand einer zweiseitigen Mini-Testkiste mit einer Grundfläche von 3 Zentimetern im Quadrat und einer Wandstärke von 2 Millimetern. Vom abnehmbaren Boden ragen Rundstäbe und Plättchen

Ein Ersatzteil, zwei Drucktechniken, vier Exemplare: Die beiden links sind per Fused Deposition Modeling aus ABS hergestellt, die beiden anderen bestehen aus lasergesintertem Polyamid.

ins Innere, die abgestuft jeweils 5, 2, 1, 0,5 und 0,2 Millimeter stark sind. Im Deckel der Kiste sind dafür passende Aussparungen vorgesehen, mit 0,1 Millimeter Luft in jeder Richtung. Bei maßhaltig hergestellten Kisten kann man die aufragenden Teile in die Löcher des umgedrehten Deckel fädeln (Video siehe c't-Link). Als weiterer Prüfstein diente uns eine Kette mit hundert ovalen Gliedern von je 8 Millimetern Länge und einer Materialstärke von lediglich einem Millimeter.

Zusätzliche Testobjekte stammen aus der 3D-Community Thingiverse. Da diese keine zentrale Qualitätskontrolle betreibt, sind die Modelle dort unterschiedlich ausgereift. Wir pickten uns dort beispielsweise eine Gurt-schließe heraus, wie sie bei Rucksäcken und Fahrradtaschen üblich ist. Auf den ersten Blick erschien das Modell tadellos. Wie sich herausstellte, fehlte aber in seinem geometrischen Oberflächennetz (mesh) bei einigen winzigen Polygonen die Füllung – es ist nicht

3D-Farbdrucker erreichen nicht ganz die Qualität von 2D-Tintenstrahlern: Feine Grafiken erscheinen verwaschen und weiße Flächen eher hellgrau. Buchstaben von einem Millimeter Höhe wie auf dem Würfel sind gerade noch lesbar (Abbildung etwa in Originalgröße).





Unser Testkasten diente als Prüfstein für Detailreichtum und Maßhaltigkeit. Von links nach rechts: ein ABS-Druck von fabberhouse, stereolithografisch gehärtetes Kunstharz von i.materialise, lasergesintertes Polyamid von Sculpteo und von Shapeways einmal halb transparentes Kunstharz und einmal Polyamid.

geschlossen, nicht „wasserdicht“, wie es im CAD-Jargon heißt. Außerdem wiesen bei etlichen Flächen die Normalen in die falsche Richtung. Normalen zeigen an, auf welcher Seite einer Fläche das Innere und auf welcher das Äußere eines Körpers liegt. Bei einem Dienstleister fiel dieses fehlerhafte Datenmodell durch die Vorabprüfung und war damit nicht druckbar, andere kamen damit klar oder behoben die Probleme automatisch, einer lieferte ein defektes Objekt ab. Einige mechanische Teile haben wir auch aus der Objektdatenbank von Shapeways heruntergeladen, etwa verschiedene Sprungfedern und eine Feingewinde-Mutter M20.

Hinter den Kulissen müssen alle 3D-Druckdienstleister auf die Produktionsmaschinen einer Handvoll Hersteller zurückgreifen; auch die Materialauswahl ist überschaubar. Deshalb interessierte uns im ersten Teil des Tests, auf welche Weise die Anbieter versuchen, aus derselben 3D-Drucktechnik eine Dienstleistung für Laien zu machen. Im zweiten Teil nahmen wir die Produkte genauer unter die Lupe, um einen Eindruck zu be-

kommen, welche Qualität aktuell zu haben ist – und zu welchem Preis.

Sculpteo

Auf seiner übersichtlichen Webseite versucht der französische Anbieter Sculpteo, auch völlige 3D-Druck-Laien an die Hand zu nehmen. Wer keine eigenen Modelle basteln mag oder kann, findet unter dem Stichwort Customize Dutzende netter Möglichkeiten, vorgefertigte Modelle zu personalisieren: Eine iPhone-Hülle mit Namensprägung, eine 3D-Figur mit dem eigenen Foto als Gesicht oder ein eingefärbtes Gitarren-Plektrum mit verschiedenen Space-Invasioner-Pixelmonstern, zum Beispiel. Auch die über tausend veröffentlichten Objekte anderer Nutzer kann man mit kleinen 3D-Icons oder Textstücken personalisieren, und zwar direkt in der 3D-Vorschau, die die Webseite wahlweise per Flash, Java, WebGL oder JavaScript anzeigt. 17 Kategorien von Architektur über Spiele bis zu mechanischen Teilen ordnen die riesige Auswahl fertig bestellbarer Objekte – auch nach stundenlan-

gem Stöbern stößt man immer wieder auf Pfiffiges, Schönes und Schräges.

Eigene Modelle kann man entweder im privaten Bereich des Benutzerkontos speichern oder sie über einen Shop auf der Sculpteo-Seite für andere Nutzer bestellbar machen. Dabei kann man eine beliebig hohe Marge für sich selbst auf den regulären Preis aufschlagen. Wer will, kann seine Objekte lediglich anzeigen, ohne sie zum Bestellen anzubieten.

Auch Modelle, die man im texturlosen STL-Format hochlädt, kann man mit den Werkzeugen der Webseite einfärben und sie mit Text, Fotos und kleinen Logos schmücken und sie im 3D-Farbdruck bestellen. Einfarbige Modelle lassen sich auch in weißem oder schwarzem Polyamid ordern. Fürs Skalieren kann man die gewünschte Größe neben der Modellvorschau eintippen oder man greift zu einem Schieberegler mit Prozentangaben. Leider sind beide nicht an die Drop-Down-Liste mit den Einheiten gekoppelt, sodass schnell das Gefühl für die aktuell gewählte Größe verloren geht.

Beim Upload erledigt Sculpteo eine Reihe von Reparaturen an problematischen Dateien diskret und automatisch. Wer genauer wissen will, was da vor sich geht, kann zum Expertenmodus greifen. Das mit Defekten gespickte Gurtschließenmodell von Thingiverse konnten wir hier jedenfalls ohne Probleme hochladen und bestellen und hielten am Ende einen tadellosen Ausdruck davon in Händen.

Shapeways

Auf der Webseite von Shapeways steht die Community im Vordergrund. Zum Einrichten eines eigenen 3D-Druckshops mit Text und Logo sind nur wenige Handgriffe nötig, danach kann man munter Designs samt Beschreibung und Fotos hochladen und für Bestellungen durch andere einen beliebigen Aufschlag für den eigenen Geldbeutel wählen. Fleißige Nutzer haben Tausende Modelle in ihre Shapeways-Shops geladen, bewerten sich gegenseitig, kommentieren und diskutieren. Die riesige Auswahl – mehr bekommt man in keinem anderen Shop – lässt sich über Kategorien, Themen oder Tags sortieren. Etliche Modelle davon kann man bei Be-

Sculpteo druckt in Farbe sowie in schwarzem oder weißem Polyamid. Die 3D-Vorlage für die Gurtschließe lieferte Thingiverse, alle anderen Modelle haben Sculpteo-Kunden zum Bestellen freigegeben.





Viele Modelle aus der Sculpteo-Datenbank kann man vor der Bestellung mit Texten und Symbolen schmücken, die später als Relief die Oberfläche zieren.

stellung noch individuell modifizieren; sie sind durch ein oranges Symbol mit einem Schraubenschlüssel markiert. Manche Modelle kann man nicht nur bestellen, sondern sogar als 3D-Datei herunterladen.

Für Einsteiger bietet Shapeways einen ausführlichen Support-Teil, der nicht nur die häufigsten Fragen beantwortet, sondern auch zeigt, wie man mit diversen Grafik-Programmen eigene Modelle entwirft oder wie man die fertigen Produkte nach dem Druck besonders ansehnlich für den eigenen Shop fotografiert. In einem angeschlossenen Forum werden Probleme mit 3D-Modellen diskutiert und Erfahrungen ausgetauscht.

Derzeit kann man zwischen 12 Materialien in 20 Varianten von Glas über Sterlingsilber bis zu Stahl mit unterschiedlich nachbehandelter Oberfläche wählen. Zu jedem Material

gibt es ausführlich Informationen zu Beständigkeit, Struktur, Gewicht und Druckweise. Diese detaillierten Materialhinweise sollte man genau studieren, bevor man einen Entwurf gezielt für einen bestimmten Werkstoff ausarbeitet. So unterscheiden sich die Mindestwandstärken, außerdem weist Shapeways darauf hin, dass der Dienstleister beispielsweise aus Stahl keine Objekte mit beweglichen Teilen fertigt.

Direkt beim Hochladen prüft ein Programm namens Meshmedic die eingeschickten Modelle auf Probleme wie invertierte Normalen und flickt defekte Oberflächen automatisch. Ist die Oberfläche wasserdicht und passt das Modell in den Bauraum des Druckers, geht das Design nach wenigen Minuten online und ist dann bestellbar. Ein zweiter – manueller – Testdurchgang startet, wenn



Die Vorschau von Sculpteo hebt zu dünne Stellen einer 3D-Vorlage rot hervor – hier wird vor den 0,2 und 0,5 Millimeter dünnen Plättchen und Stangen unseres Testkastens gewarnt.

ein Objekt tatsächlich bestellt wird. Erst dann werden beispielsweise Wandstärken und Detailgrößen geprüft. Shapeways erwies sich in Sachen 3D-Modellqualität als deutlich anspruchsvoller als die anderen Dienste: Das Innenteil der problematischen Gurtschließe fiel im zweistufigen Test stets durch.

Manchmal ist die Fertigung eines Modells aus einem Material möglich, aus einem anderen hingegen nicht – die Produktion wird dann gestoppt. Da sich das erst nach einer Bestellung und damit auch nach der Bezahlung herausstellt, bekommt der Kunde den Preis gutgeschrieben. Parallel dazu erhält der Konstrukteur des Modells eine Mail mit Bildanhängen, die das Problem anschaulich illustrieren.

Die Preise für Objekte umfassen Material, Verarbeitung und Versand. Der Mindestbestellwert beträgt 17,69 Euro. Für einige Materialien gibt es einen Sockelbetrag pro Modell, der von rund einem Euro etwa bei Farbdrucken bis zu 28 Euro für Silber reicht. Dazu kommt dann der jeweilige Kubikzentimeterpreis für das Material – beispielsweise 70 Cent für Farbdruck und 13,95 Euro für Sterlingsilber. Keramik wird quadratzentimeterweise nach Oberfläche abgerechnet.

i.materialise

Auf der Webseite von i.materialise fühlt man sich wie in einem Edeldesigner-Shop: Fotos von schicken Architekturmodellen und 3D-Figuren sowie extravagante Lampendesigns erwarten den Besucher. Selber ausdrucken lassen kann man sich die Vorzeige-Designerstücke jedoch nicht. Auch eine Datenbank mit fertigen 3D-Modellen anderer Nutzer fehlt. Zum Nachdrucken findet man stattdes-



Shapeways veredelt Drucke aus rostfreiem Stahl (links) auf Wunsch mit Bronze-Finish (Mitte) oder Vergoldung (rechts).

sen ein paar nette Ideen in der Creation Corner, wo sich fließend anmutende Vasen, Lampenschirme oder als 3D-Anhänger ausgedruckte Ausschnitte von Geländereiefs personalisieren lassen. Wer mehr selbst modellieren will, kann einige Vorlagen (Design Kits) etwa für Buchstützen, Türgriffe oder Architekturmodelle für verschiedene 3D-Programme herunterladen.

Die eigenen Entwürfe lädt man in das 3D Print Lab, in dem man das Modell noch einmal in puncto Farbe und Material anpassen und per 3D-Ansicht von allen Seiten begutachten kann. Bereits hochgeladene eigene Objekte findet man zum erneuten Drucken reichlich versteckt im eigenen Profil über den Karteireiter Uploaded models. Dort bleiben sie nur vorübergehend, bis der Anbieter sie nach einiger Zeit löscht.

Die Wahl des richtigen Materials unter den neun verfügbaren soll eine zeitgeistige Darstellung in Form eines Periodensystems erleichtern. Normalerweise berechnet i.materialise den Preis eines Objekts automatisch, aber für einige Werkstoffe, besonders teure Modelle oder solche, die den Druckbereich der Maschine überschreiten und deshalb in mehreren Teilen gefertigt werden, muss man sich einen Kostenvorschlag per Webformular einholen.

Versandkosten fallen für jedes Objekt gesondert an – in den Warenkorb passt jeweils nur eines. Als Alternative soll man mehrere Modelle per Mail an den Anbieter schicken. Eine Ersparnis ist nach dessen Aussage aber nur dann zu erwarten, falls man mehrere Objekte aus demselben Material bestellt und diese im gleichen Arbeitsgang produziert werden können. Die nebeneinander in einer Datei platzierten zwei Teile unseres Testkas-

tens wollte die Firma übrigens nicht zusammen kalkulieren und produzieren, da es sich um zwei getrennte Objekte handle und unser Doppelpack die Preisberechnung durcheinanderbrächte.

Unsere Kette hingegen stellte kein Problem dar, obwohl sie aus hundert einzelnen Teilen besteht – die sei schließlich nur in einem Stück zu fertigen, teilte uns die Firma mit. Solche Unterscheidungen schafft kein automatischer Check, daher wird jedes Objekt von einem Mitarbeiter in Augenschein genommen, bevor es an den Drucker geschickt wird. Das erklärt auch, wie i.materialise die Einhaltung seiner ethischen Richtlinien sicherstellt: Der Dienst verbittet es sich explizit, bei ihm Modelle für die Waffenindustrie sowie andere „unethische“ Objekte wie Skimmerverkleidungen für Geldautomaten in Auftrag zu geben.

fabberhouse

Verglichen mit den schicken 3D-Objekt-Katalogen anderer Dienstleister wirkt fabberhouse wie ein Copyshop, in dem man die Maschine selbst bedienen muss. Auf der simpel gehaltenen und trotzdem unübersichtlichen Webseite findet man keine Beispielmuster, keine Schritt-für-Schritt-Anleitungen, keinen Speicher mit 3D-Voransicht für die eigenen Entwürfe. Stattdessen lädt man sich die 307 MByte große Windows-Druckersoftware auf den eigenen Rechner, bestückt den rund 6 Liter großen Druckbereich der verwendeten HP-Maschine mit eigenen STL-Dateien, die man noch skalieren und rotieren kann, generiert auf Knopfdruck die Werkzeugbahnen für die Maschine im proprietären CMB-Format und schickt diese dann an fabberhouse.



Shapeways bietet die größte Auswahl an fertig bestellbaren 3D-Modellen im Testfeld.

Material selector

 <p>Stainless Steel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stainless Steel probe infused - Extremely strong - Gold & Bronze finishes available <p>Price/cm³ \$10.00***</p>	 <p>Alumide</p> <ul style="list-style-type: none"> - WSF with aluminum dust - Smooth surface - High heat resistance - Less strength <p>Price/cm³ \$1.99**</p>	 <p>Ceramics</p> <ul style="list-style-type: none"> - High shine and smooth - Great for houseware - Low detail levels - Proud in surface area <p>Price/cm³ \$0.18</p>
 <p>Glass</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soda-lime glass - Recycled and recyclable - Available in Matte and 2 Glass finishes <p>Price/cm³ \$5.99**</p>	 <p>Full Color Sandstone</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2-Color superior - Extremely rigid - Large objects - Brittle - Also available in Sandstone <p>Price/cm³ \$0.99**</p>	 <p>White, Strong & Flexible</p> <ul style="list-style-type: none"> - PS 2200 - Strongest material - Flexible - Dye-d colors available** <p>Price/cm³ \$1.50*</p>
 <p>White Detail</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acrylic-based photopolymer - Highly detailed - Smaller objects - Less strength <p>Price/cm³ \$2.80</p>	 <p>Transparent Detail</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acrylic-based photopolymer - Highly detailed - Smaller objects - Less strength <p>Price/cm³ \$2.77</p>	 <p>Black Detail</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acrylic-based photopolymer - Highly detailed - Smaller objects - Less strength <p>Price/cm³ \$2.90</p>
 <p>Printed Detail & Ultra Detail</p> <ul style="list-style-type: none"> - UV Curable Acrylic Plastic - Highly detailed - Thinner walls - Smoother finish <p>Starting \$2.89/cm³</p>	 <p>Grey Rabbud</p> <ul style="list-style-type: none"> - ABS - Strong - Large objects - Less detail <p>Price/cm³ \$2.50</p>	 <p>Shining Silver</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solid Silver - Strong - Small Objects - Very high detail <p>Price/cm³ \$20.00****</p>

Stoffsammlung: Shapeways stellt jedes Druckmaterial aus seinem Angebot ausführlich und im Detail vor – zusätzlich zu dieser Übersicht gibt es noch eine Vergleichstabelle, Datenblätter und sogar YouTube-Videos zum Druckverfahren.

Fußangeln gibt es dabei reichlich: Wer im Treiber den falschen Druckertyp auswählt (richtig ist „HP Designjet Color 3D“), bekommt beim Upload eine Fehlermeldung und muss seine Bestellung noch mal neu zusammenstellen. Stützkonstruktionen für überhängende Teile fügt die Software automatisch hinzu, doch die Strategie will mit Bedacht gewählt sein: Zwar ist von den drei zur Wahl stehenden Strategien in fast allen Fällen die Option „Smart“ am günstigsten, aber eben nur fast – großen Teilen mit viel dünnen Bereichen tut eventuell doch eine komplette Stützmaterialhülle gut, auch wenn es dann teurer wird.

Die meisten Fragen beantwortet die ausführliche, aber noch nicht vollständige FAQ. Dass man bei fabberhouse fast alles selbst machen muss, hat aber auch Vorteile: Wer

etwas tiefer in die Materie einsteigt, kann eine Menge Feintuning bei der Druckvorbereitung betreiben und beispielsweise wählen, ob voluminöse Teile massiv ausgeführt oder im Inneren nur mit einer Gitterstruktur gefüllt werden sollen, was Gewicht, Material und Geld spart. Das Ganze fühlt sich schon fast so an, als hätte man einen eigenen 3D-Drucker im Nebenzimmer stehen.

Im Test mussten wir Lehrgeld zahlen: Eine kleine Version unserer Problemschleife von Thingiverse bekamen wir von fabberhouse wie gewünscht zugeschickt, die große Ausgabe davon wurde zum Teil als Negativ gedruckt und war damit unbrauchbar. Eine Gewindestange mit fertig aufgeschraubter Mutter aus dem Modellfundus von Shapeways kam quer geteilt an – reproduzierbar legte der Druckertreiber zwischendrin eine Schicht

aus Stützmaterial an. fabberhouse berichtete uns, dass der Fehler bei älteren Versionen des Druckertreibers sowie in solchen für verwandte Druckertypen nicht aufträte und hat die Frage an den Druckerhersteller HP weitergeleitet, der inzwischen an einem Treiber-Update arbeitet. Beide Druckfehler waren bei genauem Hinsehen bereits in den von uns hochgeladenen Werkzeugbahnen zu sehen, sind uns aber nicht aufgefallen.

fabberhouse berechnet den Preis eines Objekts auf nachvollziehbare Weise, indem die verbrauchten Mengen an Baumaterial und Stützsubstanz addiert und mit 49 Cent pro Kubikzentimeter abgerechnet werden. Für den Versand fallen noch mal 4,90 Euro und optional noch mal die gleiche Summe fürs Auswaschen der Stützen an, wenn man es nicht vorzieht, das spröde Stützmaterial

Creation corner

At i.materialise, we believe in inspiring you creatively.

Our virtual knowledge of 3D printing can create your ideas into reality. We believe in the ability of 3D printing to create anything you can imagine. We believe in the ability of 3D printing to create anything you can imagine.



Design TOOLS, Design SERVICES, Design KITS, 3D Printing examples: Design handles, Your design, Architectural model, Table lamp, Bookends.

Die Creation corner von i.materialise bietet eine Handvoll individualisierbarer 3D-Objekte und Vorlagen für Buchstützen, Lampen, Türklinken und Architekturmodelle.

Polyamide

PA

Description: Polyamide are synthesized from a variety of the general product. The result is a strong, somewhat flexible material that can take great impact and resist some pressure while being bent. The surface has a semi-glossy look and is highly porous.

Material samples: Images showing various Polyamide samples.

Color: Natural white, Spray Painted White, Spray Painted Black.

Typical use: Polyamide can be used for complex models, design models, small series of models, general copies of a model, large and hollow models. This material shows the greatest freedom of design of all 3D printing techniques.

Properties: Price, Strength, Density, etc.

Das Preisniveau eines Materials deutet i.materialise in der Dokumentation über Dollarzeichen an. Zum Vergleich verschiedener Materialien taugt dies aber kaum, da der Dienstleister den Preis eines konkreten Objekts je nach Werkstoff auf unterschiedliche Weise berechnet.

selbst Stückchen für Stückchen vom Modell abzubrechen. Die beiden Pauschalen gelten dabei für alle Modelle, die man auf einmal in den Bauraum des Druckers gepackt und in einem Paket bestellt hat. Allerdings sollte man beim Anordnen der Modelle im Druckertreiber nicht nur im Auge behalten, den Platz möglichst ökonomisch auszunutzen, denn die HP-Druckmaschinen von fabberhouse produzieren Modelle in relativ dicken Schichten von etwa 0,25 Millimetern Stärke. In der Folge weisen die Objekte – ganz ähnlich wie Holz – eine Art Maserung parallel zum Boden des Druckers auf. Lange und dünne Formen produziert man deshalb besser liegend, auch wenn sie dann mehr Bodenfläche belegen. Als Material steht nur ABS zur Verfügung, als Farbe nur Elfenbein – fabberhouse behält sich allerdings vor, teilweise in anderen Farben zu produzieren.

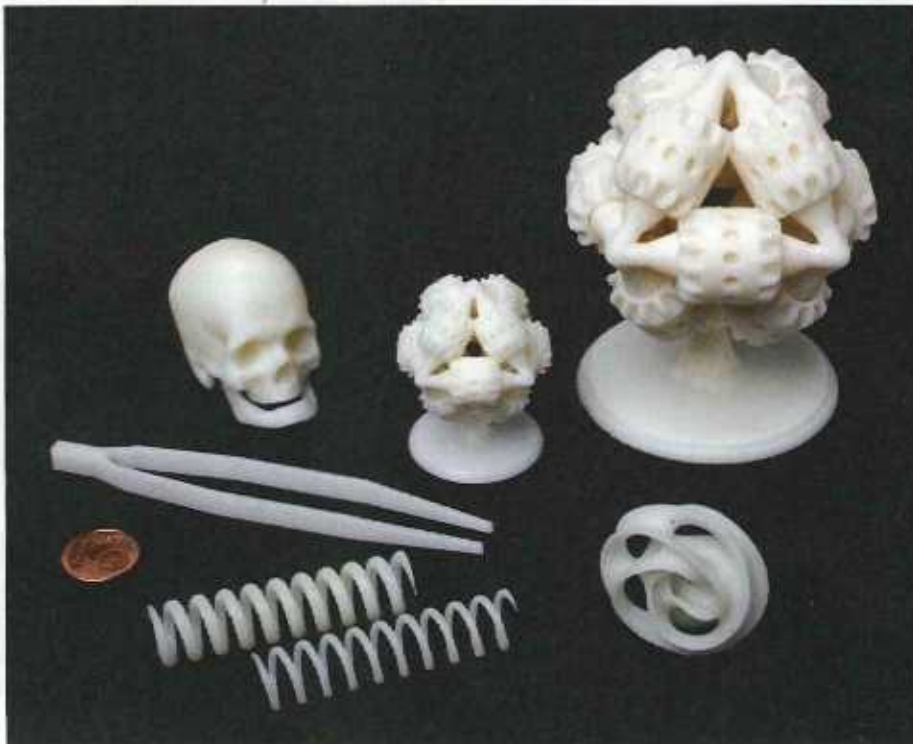
Qualität ...

Unsere Testkästen haben wir bei den Dienstleistern in möglichst feinem Material bestellt. Die gelieferten Erzeugnisse hielten die vorgegebenen Maße im Großen und Ganzen ein, Abweichungen lagen im Bereich von Zehntelmillimetern (siehe Tabelle). Die Federn federn wie gewünscht, wobei sich Polyamid als erstaunlich flexibel und ABS als deutlich steifer erwies. Für eine mitbestellte Pinzette aus dem Thingiverse-Fundus ist ABS allerdings die bessere Wahl, da es mehr Vorspannung bietet – das Polyamid-Exemplar erwies sich als etwas zu weich.

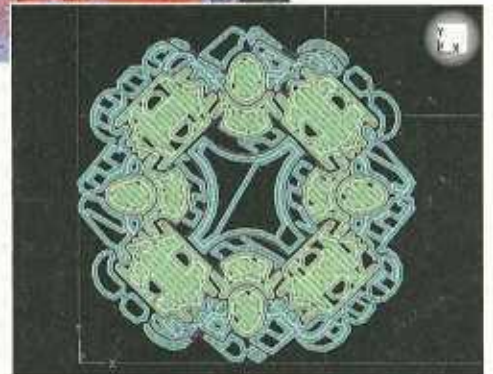
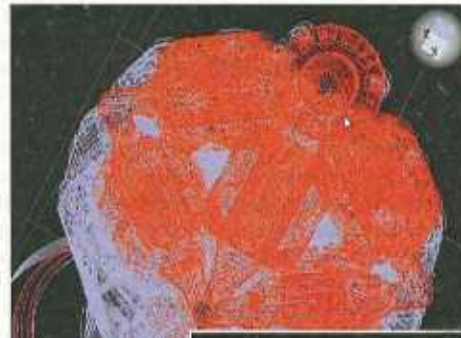
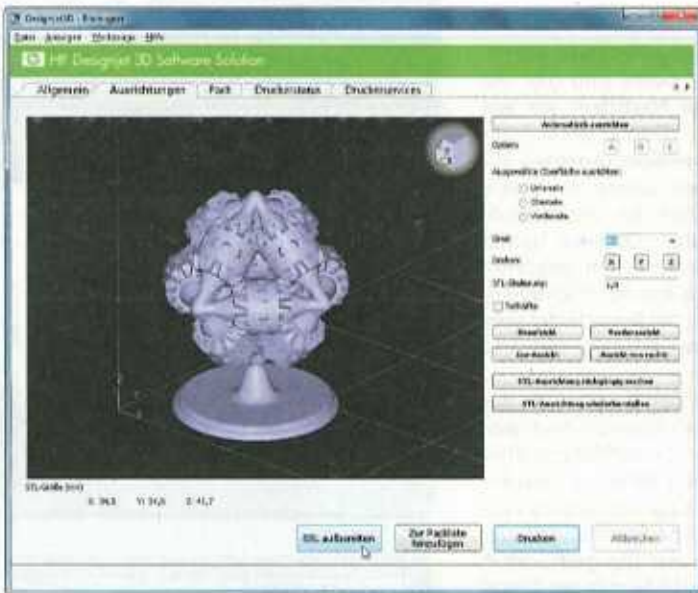
Die Oberfläche lasergesinterter Kunststoffteile ist rau, etwas porös und gibt ein wenig loses Pulver ab: Nachdem wir aus Sculpteo-Teilen eine Gurtschließe aus schwarzer Hülle und weißem Innenteil zusammengesteckt hatten, zeigte die weiße Hälfte schwarze Schleifspuren. Die stereolithografisch hergestellten Objekte haben eine wunderbar glatte bis leicht gekörnte Oberfläche. Bestehen sie aus durchscheinendem Material, sind sie in der Regel leider sehr empfindlich – was vom Tisch fällt, zerbricht meist.

Zwar können wir mit den Bordmitteln der c't-Redaktion keinen Stabilitätstest nach wissenschaftlichen Standards durchführen, aber wir wollten schon einen Eindruck bekommen, wie widerstandsfähig sich unsere Probestücke gegen alltägliche Belastungen zeigen. Dazu befestigten wir die gedruckten Ketten an der Decke und hängten ein Gefäß daran, in das wir so lange Wasser gossen, bis es knallte (Video siehe c't-Link). Bei der ABS-Kette von fabberhouse reichten dazu 370 Gramm. Die Polyamid-Exemplare der drei anderen Anbieter vertrugen mehr: Die von Sculpteo trug immerhin 840 Gramm, die von i.materialise 2,1 Kilo und die von Shapeways schließlich 3,1 Kilo. Die zunehmende Belastung verformte die elliptischen Kettenglieder zu langgezogenen Rechtecken, was die Kette spürbar verlängerte. Ohne Belastung nahmen die Glieder wieder ihre ovale Ausgangsform an.

Anschließend versuchten wir, die hohlen Oberteile unserer Testkästen zu zerstören.



Ausschließlich in einfarbigem ABS-Kunststoff druckt fabberhouse. Die sichtbar geriffelte Oberfläche ist Folge der Fertigung in 0,25 Millimeter dicken Schichten. Pinzette und Federn sind robust genug, um sie praktisch zu benutzen; die beiden Brain Gears bewegen sich wegen zu kleiner Spalten zwischen Achsen und Rädern nicht.



Vor der Bestellung bei fabberhouse installiert man sich den Treiber für den HP-Drucker auf dem eigenen Rechner und generiert auf Knopfdruck selbst die Werkzeugbahndaten, die die Druckköpfe führen. In der 3D-Voransicht links oben erscheint Baumaterial rot und Stützmaterial blaugrau; in der Schichtansicht darunter ist das Baumaterial heller und das Stützmaterial dunkler dargestellt.

Mit der Hand gelang das in keinem Fall. Auch den 87 Kilo Lebendgewicht eines c't-Redakteurs, der vorsätzlich drauftrat, hielten die Kästen stand – zumindest, solange die offene Seite des Kastens dabei nach unten zeigte. Erst in Seitenlage bekamen wir die beiden Polyamid-Stücke und das aus ABS kaputt – heil blieb einzig der aus Kunstharz (Paintable resin) per Stereolithografie gefertigte Kasten von i.materialise.

... hat ihren Preis

Für einen direkten Preisvergleich der Anbieter haben wir bei allen noch mal fünf spezielle Testobjekte hochgeladen und die Preise inklusive Steuer für ABS, lasergesintertes Po-

lyamid und 3D-Farbdruck notiert. Es handelt sich dabei um zwei massive Würfel mit 2,5 und 10 Zentimetern Kantenlänge, zwei ebenso große, aber auf 3 Millimeter starke Leisten an den Kanten reduzierte Rahmenwürfel, sowie eine Kopie des großen Rahmenwürfels, der auf eine Spitze gestellt wurde, um möglichst viel Platz im Drucker zu belegen.

Vergleicht man die Preise für verschiedene Materialien eines Anbieters, erkennt man bei manchen Muster: Shapeways berechnet die Kosten in erster Linie nach dem Volumen des fertigen Modells. Große, massive Objekte sind hier sehr teuer, filigrane sehr günstig – ganz egal, wie sie im Raum ausgerichtet sind. Bei i.materialise hingegen wird der Preis je

nach Material völlig unterschiedlich bestimmt. Wie uns das Unternehmen bestätigte, verursachen Objekte aus Polyamid einen Grundbetrag von etwa 20 Euro. Zusätzlich betrachtet man bei diesem Material die Größe des einhüllenden Quaders um ein Modell, die sogenannte Bounding Box. Beim Farbdruck hingegen bestimmt vor allem das Volumen des verbauten Materials den Preis. Sculpteo liegt irgendwo in der Mitte: Der massive große Würfel kostet knapp doppelt so viel wie die Rahmenversion; die gekippte Variante ist deutlich teurer als die gerade ausgerichtete. Auffällig ist hier der Einheitspreis von 11,22 Euro für alle Varianten des kleinen Würfels – billiger geht bei Sculpteo offenbar nicht.



Wer die Werkzeugbahnen nicht genau prüft, bevor er sie zu fabberhouse schickt, kann Überraschungen erleben: Weder die Teilung von Schraube nebst Mutter war beabsichtigt noch der teilweise negative Druck der großen Gurtschließe.



Alle vier M20-Testmutter ließen sich problemlos auf eine industriell gefertigte Schraube drehen. Die Polyamidversionen stammen von Sculpteo (links) und Shapeways (unten auf der Schraube), die ABS-Mutter von fabberhouse (rechts). Oben auf der Schraube sitzt ein Exemplar von i.materialise, gefertigt aus einer Mischung aus Polyamid und Aluminiumpulver namens Alumide.



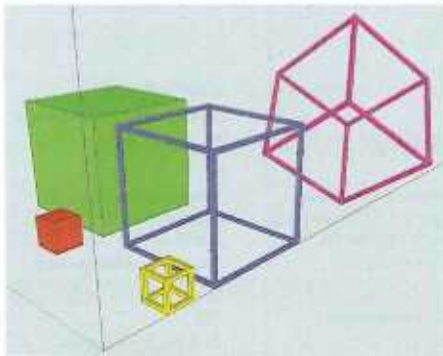
Durch die Brain-Gear-Miniatur von Sculpteo (links) kann man durchschauen, während die von i.materialise innen wie zugeschwemmt wirkt. Beide Modelle bestehen aus Polyamid und sind zu klein, um beweglich zu sein.

Große, massive Polyamidobjekte sind bei i.materialise am günstigsten, filigrane mit großer Bounding Box bei Shapeways. Bei farbigen, massiven Modellen hat Sculpteo die Nase vorn. Grazile Mini-Objekte bestellt man in beiden Fällen am besten bei Shapeways. Bei ABS ist fabberhouse dank des Kubikzentimeterpreises von 49 Cent meist am günstigsten. Bestellt man allerdings nur ein einzelnes kleines Modell, übersteigen die zusätzlichen Pauschalen fürs Entfernen des Stützmaterials und für den Versand schnell den eigentlichen Modellpreis. Die massiven

Würfel wären bei fabberhouse verhältnismäßig preiswert, da wir den Druckertreiber angewiesen haben, das Innere nicht massiv anzulegen, sondern es nur mit einer automatisch angelegten stabilen Gitterstruktur zu füllen.

Fazit

Es liegen Welten zwischen den Wegen, die unsere Testkandidaten verfolgen, um 3D-Druck als Dienstleistung für alle anzubieten. Sculpteo und Shapeways locken Einsteiger



Unsere Testobjekte für den Preisvergleich in der Ansicht von SketchUp. Die kleinen Würfel haben eine Kantenlänge von 2,5 Zentimetern, die großen von 10 Zentimetern, das Volumen der Rahmenwürfel beträgt nur einen Bruchteil der massiven Exemplare. Der pinkfarbene Rahmenwürfel ist genauso groß wie der blaue, steht aber auf der Ecke und nimmt deshalb mehr Platz im Druckraum ein.

Preise

Anbieter	Sculpteo.com	Shapeways.com ¹	i.materialise.com	fabberhouse.de
Zusatzkosten	Versand 12 € pro Bestellung	alles inklusive	Versand 8,67 € pro Objekt, kostenlos ab 100 €	Versand 4,90 € pro Bestellung, Stützmaterial entfernen 4,90 € pro Bestellung
Preise Polyamid, weiß				
Massivwürfel 25 mm	11,22 €	20,59 €	34,01 €	-
Rahmenwürfel 25 mm	11,22 €	4,04 €	34,01 €	-
Massivwürfel 100 mm	200,93 €	633,00 €	116,17 €	-
Rahmenwürfel 100 mm	122,00 €	14,07 €	108,54 €	-
Rahmenwürfel 100 mm gekippt	179,07 €	14,09 €	303,23 €	-
Preise Farbdruck				
Massivwürfel 25 mm	11,22 €	14,01 €	21,89 €	-
Rahmenwürfel 25 mm	11,22 €	3,09 €	13,01 €	-
Massivwürfel 100 mm	257,14 €	818,81 €	675,18 €	-
Rahmenwürfel 100 mm	149,50 €	9,70 €	18,40 €	-
Rahmenwürfel 100 mm gekippt	229,82 €	9,72 €	18,40 €	-
Preise ABS, weiß				
Massivwürfel 25 mm	-	32,25 €	56,88 €	4,70 € ²
Rahmenwürfel 25 mm	-	4,66 €	50,95 €	2,34 €
Massivwürfel 100 mm	-	2064,58 €	1186,65 €	171,86 € ²
Rahmenwürfel 100 mm	-	21,38 €	125,36 €	26,74 €
Rahmenwürfel 100 mm gekippt	-	21,42 €	99,23 €	31,42 € ²
alle Preise inkl. Steuer; Modelle siehe Link am Ende des Artikels				
¹ Mindestbestellwert bei Shapeways: 17,69 €				
² Modell sprengte die Bauraumgröße und musste deshalb etwas gekippt werden, in anderer Maschine und Lage 26,30 €				

3D-Druckdienstleister

Anbieter	Sculpteo.com	Shapeways.com	i.materialise.com	Fabberhouse.de
Firma	Sculpteo	Philips	Materialise Group	alphacam
Firmensitz	Frankreich	USA	Belgien	Deutschland
Sprache	Englisch	Englisch	Englisch	Deutsch
Lieferfristen ¹	2 bis 18 Werktage je nach Versandart	5 bis 21 Werktage je nach Material	6 bis 20 Tage, Expresslieferung f. Polymid	Anzeige aktueller Wartezeit
Angebot¹				
Materialien	Polyamid, Farbdruckpulver	ABS, Polyamid, Alumide, Kunstharz, Farbdruckpulver, Stahl, Silber, Glas, Keramik	ABS, Polyamid, Alumide, Kunstharz, Farbdruckpulver, Stahl, Titan	ABS
Optionen einfarbiger Objekte ²	schwarz und weiß	weiß, schwarz, grau, rot, blau, div. Oberflächen-Finishes für Stahl, Polierung für Polyamid	9 RAL-Töne bei Polyamid und als Lackierung für Kunstharz, 8 Farben bei ABS, div. Oberflächen-Finishes bei Stahl	9 Farben im Wechsel, aber keine freie Wahl
Drucktechniken	Lasersintern, 3D-Druck	Stereolithografie, Lasersintern, 3D-Druck, Fused Deposition Modeling, Wachsdruck und Ausschmelzverfahren, Multijet Modeling	Stereolithografie, Lasersintern, 3D-Druck, Fused Deposition Modeling, PolyJet	Fused Deposition Modeling
Dateiformate einfarbig	OBJ, PLY, STL, OFF, SKP, KMZ, 3DS, AC3D, ASE, Collada, MD2/MD3, Q3D, COB, DXF, LWO, IGES, STEP, VRML	STL, VRML, Collada, X3D, OBJ	STL, IGES, MODEL, 3DS, MXP, OBJ, WRL, 3DM, SKP	als CMB aufbereitetes STL
Dateiformate mehrfarbig	Alle bis auf STL, IGES, STEP	VRML, X3D	OBJ, WRL, SKP	-
Objekteigenschaften				
maximale Abmessungen ^{1,3} (Länge x Breite x Höhe in cm)	20 x 25 x 31,9 oder 25,4 x 38,1 x 20,3	bis zu 70 x 38 x 58	bis zu 210 x 70 x 80	20,3 x 20,3 x 15,2 (25,4 x 25,4 x 30,5 bei Abgabe vor Ort)
minimale Abmessungen ¹ (Länge x Breite x Höhe in cm)	k. A.	2,5 x 2,5 x 2,5	k. A.	etwa 0,5 x 0,5 x 0,5, variiert je nach Modell
maximale Dateigröße	50 MByte (empfohlen)	64 MByte	100 MByte	2 GByte
maximale Polygonzahl	1 Million (empfohlen)	1 Million	k. A.	-
Schichtdicke oder minimale Detailgröße ³ mm	0,1 (Schicht), 0,3 (Details)	0,1 bis 2	0,1 bis 0,5	0,254 (Schicht)
Mindestwanddicke ² mm	0,8 (biegsam), 2 (starr) bis 3	0,3 bis 3	0,3 bis 1,5	1
Mindestspaltmaß ³ mm	0,5	0,05	k. A.	0,3
Webseite und Bestellung				
Datenbank mit fertigen Modellen	✓	✓	-	-
individualisierbare Modelle	✓	✓	✓	-
Optionen für eigene Modelle	privat, nur sichtbar oder auch bestellbar	privat, nur sichtbar oder auch bestellbar	-	-
3D-Voransicht	✓	✓	✓	✓ im Druckertreiber
Druckbarkeitsvorschau	Rotfärbung kritischer Bauteile	-	-	nur Voransicht d. Werkzeugbahnen
Bezahlarten (Vorkasse)	PayPal, Kreditkarten	PayPal, Kreditkarte über PayPal, Bankeinzug	PayPal, Kreditkarten	Kreditkarten, Giro-pay
Mindestbestellwert	3,60 € (weiß), 4,80 € (schwarz), 6 € (Farbe)	17,99 €	-	-
Abrechnung nach ¹	Material des Objekts, für die Fertigung nötiges Material, Maschinenlaufzeit, Zeit für Qualitätskontrolle und Verpackung	Volumen verbautes Material: 0,70 € bis 13,95 € pro cm ³ , Pauschalen pro Modell bei einigen speziellen Materialien	unterschiedlich je nach Material: Modellpauschale, Volumen verbautes Material oder Bounding Box	Volumen verbautes Material (Werkstück und Stützmaterial), 0,49 € pro cm ³
Warenkorb / speichern	✓ / ✓	✓ / ✓	fasst nur je ein Modell / -	Druckdateien offline speichern
Ergebnisse				
Material Testkästen	Polyamid (White plastic)	Kunstharz (Frosted Ultra Detail)	Kunstharz (Paintable resin)	ABS
Maßhaltigkeit Außenmaße	um 0,1 bis 0,15 mm geringer	bis zu 0,1 mm geringer	✓	um 0,1 bis 0,2 mm größer
Maßhaltigkeit Wandstärken	um 0,1 bis 0,15 mm zu dünn, Elemente mit 0,2 mm Stärke in 0,5 mm Stärke gedruckt	✓ Stab mit 0,2 mm Durchmesser nur zum Teil vorhanden	✓ Elemente mit 0,2 mm Stärke nicht vorhanden	✓ Elemente mit 0,5 und 0,2 mm Stärke in 1 mm Stärke gedruckt
Maßhaltigkeit Öffnungen	✓ Bohrung mit 0,2 mm Durchmesser verstopft	✓	✓	minimal zu klein
Bedienkomfort	⊕	⊕	⊖	○
Preistransparenz	⊖	⊕	⊖	⊕⊕
Materialauswahl	○	⊕⊕	⊕	⊕⊕
Lieferdauer Werkzeuge	5	6 bis 19 ²	7	3

¹ Herstellerangabe ² je nach Material ³ je nach Verfahren

⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊕⊕ sehr schlecht ✓ vorhanden - nicht vorhanden k. A. keine Angabe

mit einem großen Bestand bestellfertiger und individualisierbarer 3D-Modelle. Shapeways stellt bei der Materialauswahl und bei der Fülle an Detailinformationen rund ums 3D-Drucken alle anderen Anbieter in den Schatten und verhindert Fehldrucke durch eingehende Prüfung der hochgeladenen 3D-Datenmodelle. Sculpteo bietet Ähnliches in einer Nummer kleiner und reparierte so manches Problemobjekt automatisch, das Shapeways zurückwies.

Fabberhouse hingegen druckt ohne weitere Vorabkontrolle alles, was man ihm als selbst generierte Werkzeugbahndatei schickt. Das ist der Preis dafür, dass man hier als Kunde so viel Einfluss auf den Druckvorgang bekommt wie nirgendwo sonst. Wer das als Vorteil sieht und weder mit dem Ein-

heitsmaterial ABS noch der relativ groben Auflösung Probleme hat, bezahlt bei Fabberhouse in der Regel deutlich weniger als bei der Konkurrenz. Der vierte Anbieter, i.materialise, scheint noch in der Entwicklung zu stecken – er bietet eine vernünftige Materialauswahl, eine schicke Webseite und ist bei großen Modellen manchmal am günstigsten. Eine Datenbank mit Nutzermodellen, mehr Transparenz bei den Preisen und die Möglichkeit, mehr als ein Modell in den Warenkorb zu packen, würden das Angebot deutlich weiter nach vorne bringen.

Etwas in 3D drucken zu lassen, statt es mit den eigenen Händen zu bauen, lohnt sich vor allem bei filigranen Kleinteilen, die anders kaum herzustellen sind und die es nicht als Fertigteile für ein paar Cent zu kaufen gibt.

Das verwendete Material ist robuster, als man glaubt, die fertigen Objekte halten in der Regel die geplanten Maße ein, die Konstruktion am Rechner macht Spaß, und das Gefühl, wenn man nach ein paar Tagen das wie von Zauberhand materialisierte Ding selbst in der Hand hält, hat etwas Magisches. (pek)

Literatur

- [1] Stefan Krempf, Homo Fabber, vom Personal Computer zum Personal Fabricator, c't 5/06, S. 100
- [2] Peter König, Christiane Rütten, Modellierautomat, 3D-Drucker als Bausatz: MakerBot Cup-Cake CNC, c't 3/11, S. 110

www.ct.de/1115084



„3D-Druck ist schneller und besser“

Interview mit dem 3D-Puzzle-Designer Oskar van Deventer

Früher baute er seine Prototypen von Hand, heute benutzt Oskar van Deventer den Computer fürs Design und lässt seine mechanischen Puzzles im 3D-Druck fertigen. Etliche seiner dreidimensionalen Knobelstücke bekommt man über den Online-Shop von Shapeways.

c't: Können Sie den Entwurfsprozess für Ihre Puzzles kurz beschreiben?

Oskar van Deventer: Der ist jedes Mal anders. Aber sobald ich eine Idee habe, beginne ich direkt am Computer zu modellieren, CAD-Programme als Skizzenpapier zu benutzen. Eitan Cher hat ein Video bei YouTube veröffentlicht, das diesen Entwurfsprozess perfekt beschreibt [siehe c't-Link, die Redaktion].



c't: Bauen Sie schon mal ein Detailmodell als „3D-Skizze“ von Hand?

Deventer: Nein, ich mache alles am Rechner. Früher habe ich alles von Hand gebaut, aber die Kombination aus Computerentwürfen und dem 3D-Druck ist viel schneller und besser.

c't: Beginnen Sie beim Entwurf Ihrer Puzzles immer wieder von null oder verwenden Sie Teile wieder, etwa Verbindungen zwischen den Teilen?

Deventer: Ich beginne immer ganz von vorne, obwohl etliche meiner Puzzles auf einen Kern von $2 \times 2 \times 2$ Teilen aufbauen. Diesen Kern konstruiere ich jedes Mal neu, in Abhän-

Das Puzzle „Fairly Fudged“ fügt dem klassischen Drehwürfel etliche geometrische Schikanen hinzu.



gigkeit von der Größe der umgebenen Teile. Je größer ich diese Basis im Verhältnis zur Gesamtgröße gestalten kann, desto stabiler wird das Puzzle.

c't: Haben Sie praktische Tipps, wie man ein Objekt für den 3D-Druck entwirft?

Deventer: Nimm die richtigen CAD-Werkzeuge. Burr Tools ist eine tolle und kostenlose Software, um mehrteilige Puzzles zu entwerfen und in 3D zu drucken. PovRay dagegen

eignet sich gut für Visualisierungen, ist aber sehr schlecht für CAD geeignet. Solidworks ist exzellent für die Ingenieurarbeit am Puzzle wie ausrunden, aushöhlen, Schnitte führen und Flächen absetzen, um Bewegungsraum zu schaffen. Rhino eignet sich wunderbar für schnelle Skizzen komplexer Formen.

c't: Wobei muss man besonders aufpassen?

Deventer: Die vorgesehenen Aussparungen und Abstände zwischen Einzelteilen müssen stimmen. Abgerundete Ecken sorgen für geschmeidige Bewegungen. Hohle Formteile machen den 3D-Druck billiger. Das Ober-

Acht gebogene Pfropfen lassen sich in den Würfel schieben, aber nur auf eine Weise passen alle gleichzeitig hinein.



flächennetz muss die korrekte Auflösung haben und „wasserdicht“ sein, das heißt, die Oberfläche darf keine leeren Facetten aufweisen – um nur einige zu nennen.

c't: Welches Puzzle hat Ihnen am meisten Kopfzerbrechen bereitet?

Deventer: Mein „Over The Top $17 \times 17 \times 17$ “ erforderte drei Prototypen, bis alles klappte. Glücklicherweise hatte ich großzügige und nachsichtige Sponsoren. Rund drei Viertel meiner Entwürfe funktionieren aber beim allerersten Versuch.

c't: Viele Ihrer Puzzles, die man bei Shapeways bestellen kann, werden unmontiert und in Einzelteilen geliefert. Ist es unmöglich, sie fertig zusammengebaut, aber trotzdem funktionsfähig fertigen zu lassen?

Das Puzzle „Over The Top $17 \times 17 \times 17$ “ ist eine Version von Rubik's Cube mit 17 Ebenen und gelang Oskar van Deventer erst im dritten Anlauf.



Deventer: Ringpuzzles wie „Sixth Sense“ werden komplett zusammengebaut gedruckt. Das ist möglich, weil es dabei genügend große Spalten zwischen den Teilen und ausreichend Raum gibt, um Rückstände von

Wer das Ringpuzzle „Sixth Sense“ beim 3D-Druckdienstleister bestellt, bekommt die sechs Teile fertig zusammengefügt ins Haus.



nicht verdrucktem Rohmaterial herauszubekommen. Das ist aber bei den wenigsten meiner Puzzles möglich, da die anderen an den kritischen Stellen keine Spalten vorsehen. Würde man die fertig montiert drucken, würden die Einzelteile miteinander verschmelzen.

c't: Warum setzen Sie die Rapid-Prototyping-Technik nicht nur während der Entwicklung Ihrer Puzzles ein, sondern bieten sie auch über Shapeways als fertiges Produkt an?

Deventer: Die Gründe sind: Geld und Ruhm. Manche Fans sind bereit, den Preis für 3D-gedruckte Muster zu bezahlen, von denen sie wissen, dass sie diese anders nicht bekommen können, weil sich deren Massenproduktion nicht rechnet. Dieses Geld hilft mir, einige der Kosten auszugleichen, die mein Puzzle-Hobby verursacht. Shapeways ist ein perfekter Weg, um meine Entwürfe zu veröffentlichen.

c't: Auf Ihrer Shop-Seite bei Shapeways erwähnen Sie „mechanische Puzzles und Objekte, die nur dank 3D-Drucktechniken existieren“. Warum ist es unmöglich, diese in klassischen Verfahren wie Spritzguss zu produzieren?

Deventer: Bei manchen meiner Designs ist das zum Beispiel wegen Hinterschneidungen unmöglich. „Moby Maze“, das auf einem Möbiusband aufbaut, ist so ein Beispiel. Meistens ist es aber aus ökonomischen Gründen unmöglich. Angesichts des erschwinglichen 3D-Drucks ergibt es wirtschaftlich keinen Sinn, für Prototypen Gussformen anzufertigen. Bei Shapeways verkaufe ich von einem typischen Puzzle höchstens ein Exemplar. Der Bestseller war eines namens Floppy $2 \times 3 \times 3$, eine spezielle Edition von Shapeways, von der ich 35 Stück verkauft habe. (pek)

www.ct.de/1115095

ct