

# Fokus

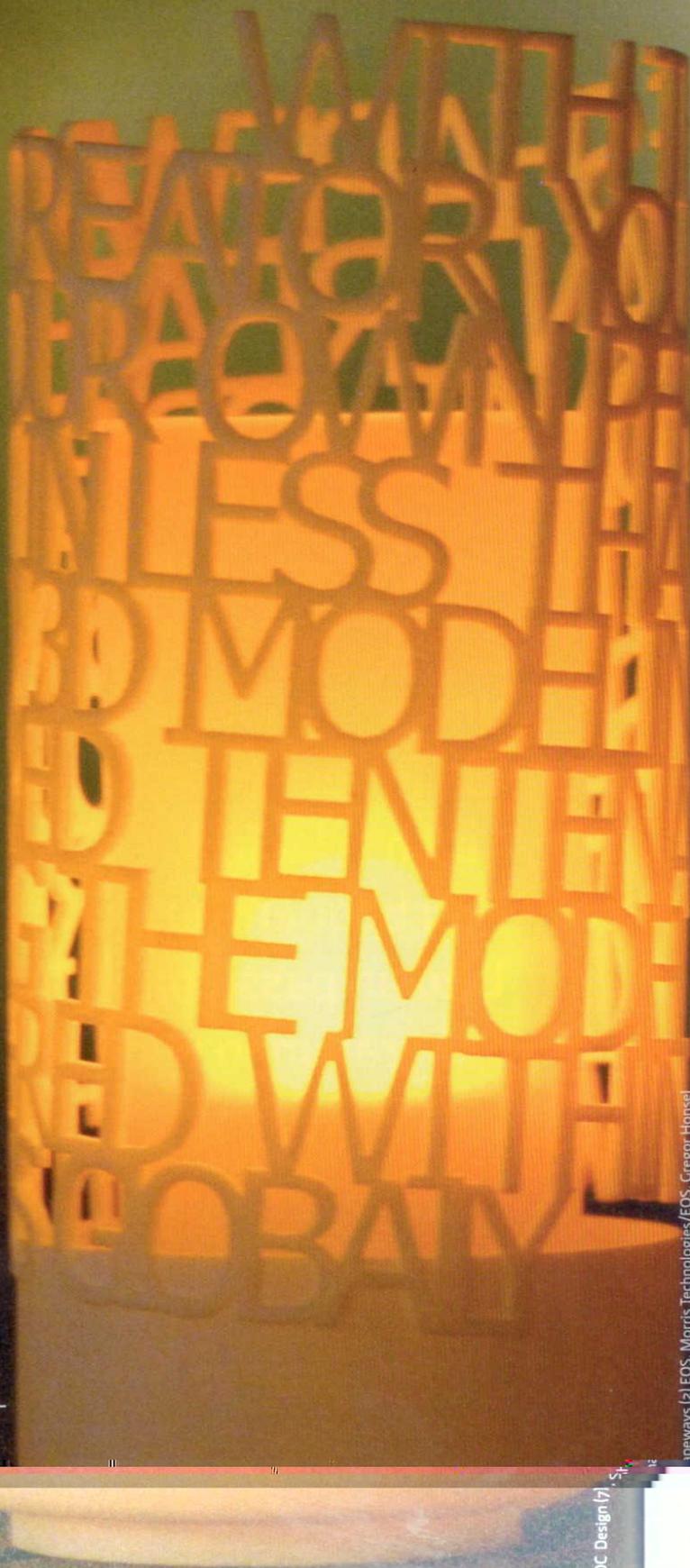
## RAPID MANUFACTURING

62	<b>ENTWICKLUNG</b>	Rapid Manufacturing erobert den Markt
68	<b>PRODUKTE</b>	Alles druckbar – vom Stöckelschuh bis zur Turbinenform
70	<b>SOFTWARE</b>	An laienfreundlichen Modellier-Programmen mangelt es noch
72	<b>WERKSTOFFE</b>	Die schwierige Ehe von Material und Prozess
74	<b>FAB LABS</b>	In den Hightech-Labors werden Verbraucher zu Produzenten
75	<b>INTERVIEW</b>	Neil Gershenfeld über Mikro-Lego und Open-Source-Maschinen

**Jeder Konsument ein Produktentwickler?  
Ähnlich wie das Internet das Musikgeschäft  
umgekrempelt hat, könnte der 3D-Druck  
die Produktionswelt wandeln. Geräte, die  
Laien erlauben, selbstentworfenene Dinge schnell  
und bequem auszudrucken, erobern den Markt.  
Und an passenden Werkstoffen und Modellier-  
Programmen wird geforscht. So setzt sich viel-  
leicht eine neue Form des Herstellens durch: fle-  
xibel, individuell und verbrauchernah.**



Selbstverfasster  
Lampenschirm:  
Den Text für das  
Buchstabengitter  
des Teelichtstän-  
ders der Firma  
Shapeways kön-  
nen die Kunden  
vorgeben.



# LICHT- GEDICHTE VOM LASER

3D-Druck war bisher ein Verfahren für wenige Spezialanwendungen in der Industrie. Jetzt erobert es den Massenmarkt –

und setzt einen Kreativitäts-Trend in

Gang.

VON GREGOR HONSEL

**A**uf der Webseite [www.shapeways.com](http://www.shapeways.com) sind einfache Ring-Gedichte („Ring Poems“) für sechs bis zehn Dollar zu haben, in der Bronze-Ausführung ab 59 Dollar. Licht-Gedichte („Light Poems“) sind mit 49 Dollar – inklusive Mehrwertsteuer, zuzüglich Versand – etwas preiswerter.

Wer sich unter einem Ring-Gedicht nichts vorstellen kann, für den hat die niederländische Firma Shapeways Beispielfotos ins Netz gestellt. Einige Produkte des kleinen Spin-offs von Philips sind so neu, dass es dafür noch gar keine allgemein verständliche Bezeichnung gibt. Hinter den poetischen Namen „Ring Poem“ und „Light Poem“ verbergen sich Servietten-Ringe und Teelichtständer – allerdings mit einer Besonderheit: Über ein kleines Java-Programm geben Kunden übers Internet einen beliebigen Text vor, dessen Buchstaben sich dann zu einem ringförmigen Gitter formen. Bei Schrifttyp, Farbe und Material können Nutzer zwischen verschiedenen Optionen wählen. Zehn Tage später wird das fertige Produkt aus Kunststoff oder Metall nach Hause geliefert.

Die individuellen Geschenke basieren auf einer Technologie, die bisher nur wenigen Spezialisten in der Industrie vertraut war – der sogenannten additiven Fertigung („Additive Manufacturing“, AM). Diese etwas sperrige Bezeichnung hat sich in den letzten Jahren als Oberbegriff für Herstellungsverfahren wie Stereolithografie oder Lasersintern (siehe Kasten Seite 66) etabliert. Andere geläufige Bezeichnungen sind „3D-Druck“, „generative Fertigungsverfahren“ oder „Schichtbauverfahren“. Ihnen ist gemein, dass Werkstücke in ihrer kompletten räumlichen Gestalt schrittweise aus mikrometerdünnen Schichten aus Kunststoff, Harz, Gipspulver oder Metall aufgebaut werden.

**Lange Zeit galt AM** als Synonym für „Rapid Prototyping“, der schnellen Herstellung von Anschauungsmodellen. Designer können dank der AM-Verfahren beispielsweise rasch und mit wenig Aufwand überprüfen, wie ein neuer Akkuschrauber in der Hand liegt, auch wenn dessen Design bisher nur in Form von Konstruktionsdaten existiert; Architekten können ihren Kunden das dreidimensionale Abbild eines geplanten Gebäudes in die Hand geben; Chirurgen können sich aus den Daten einer Computertomografie ein realistisches Organmodell erstellen lassen, um eine OP zu planen.

Doch in den letzten Jahren sind die AM-Anwendungen weit über ihre Prototyp-Nische hinausgewachsen. Dabei gibt es drei große Trends:

► Dank immer besserer Materialien werden auch hochbelastbare Endprodukte für den praktischen Einsatz hergestellt („Rapid Manufacturing“).

► AM-Maschinen sind mittlerweile so preiswert, dass sie auch in Privathaushalten Einzug halten können, um dort per Mausclick

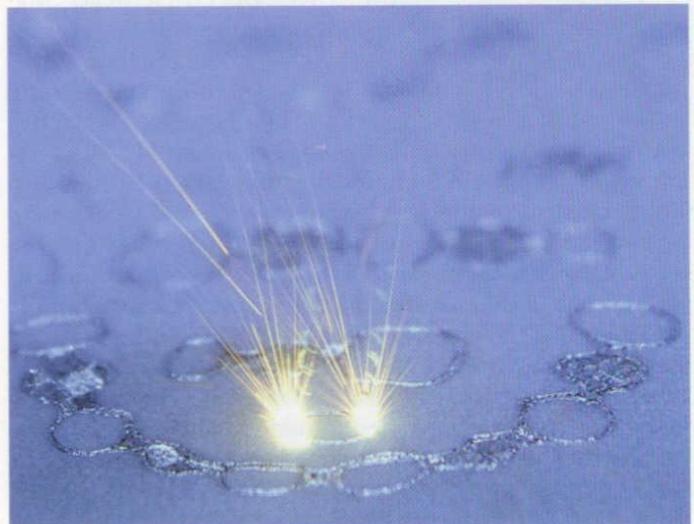
Nachschub an Haushaltsgegenständen, Spielzeugen oder Ersatzteilen zu liefern. Zudem bieten immer mehr Dienstleister den Ausdruck von 3D-Datensätzen an – zum Beispiel Büsten aus Fotos.

► AM-Maschinen ergänzen kleine, kollektiv genutzte Werkstätten, in denen Bürger selbst Gebrauchsgegenstände bauen oder reparieren können („Fabbing“). Gerade in Schwellenländern wird das als Gegenbewegung zur industriellen Massenfertigung mit ihrer Ex-und-hopp-Mentalität gesehen.

Am weitesten ist der Übergang vom „Rapid Prototyping“ zum „Rapid Manufacturing“ in der Medizin gediehen. Individuell angepasste Gehäuse für Hörgeräte werden schon längst nahezu ausschließlich additiv gefertigt. Auch Zahnersatz und Implantate lassen sich dank neuer Legierungen Schicht für Schicht zu einem dichten und hochfesten Bauteil aufbauen. Die Firma EBM etwa hat mittlerweile rund 30 000 Hüftgelenk-Schalen aus einer Titanlegierung ausgeliefert – 2008 waren es noch 500.

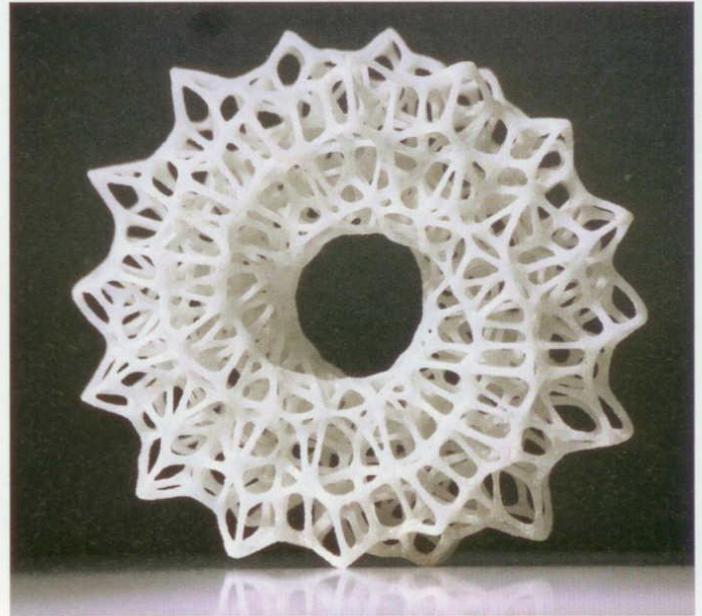
**Als Faustregel gilt:** Je komplexer das Bauteil und je kleiner die Stückzahl, desto eher rechnet sich Rapid Manufacturing. Da mit Schichtbauverfahren praktisch jede beliebige Geometrie direkt aus dem Computer in die physische Welt übertragen werden kann, brauchen die Konstrukteure keine Rücksicht auf die Beschränkungen herkömmlicher Fertigungsprozesse zu nehmen. „Funktionsgerecht statt fertigungsgerecht konstruieren“ nennen das die Experten. Beispiele dafür sind Spritzgussformen aus Werkzeugstahl. Damit diese Formen nicht zu heiß werden, benötigen sie Kühlung von innen. Bei konventionell gegossenen Formen werden die dafür nötigen Kühlkanäle nachträglich gebohrt. Das bedeutet einen zusätzlichen Arbeitsschritt, und die Bohrungen können nicht der Kontur der Form folgen. Bei AM hingegen können die Kanäle schon am Computer so angelegt werden, wie es für die Kühlung optimal ist – immer möglichst nah an der Oberfläche. Beim Ausdrucken werden diese Kanäle dann einfach ausgespart. In der Praxis konnte eine von der Firma BKL-Lasertechnik hergestellte Gussform für die Verschlusskappen von Lippenstiften wegen der besseren Kühlung die Dauer des Produktionszyklus um mehr als 40 Prozent verkürzen und gleichzeitig den Ausschuss reduzieren.

Innovation schlägt Funken: Laserstrahlen verschmelzen Metallpulver schichtweise zu hochbelastbaren Produkten. Das Bild zeigt die Entstehung von Zahnersatz aus Kobalt-Chrom-Legierung. Die Umrisse des künstlichen Gebisses zeichnen sich im Pulverbett ab.





Druckreife Technik:  
Mittels additiver  
Fertigung lassen sich  
komplette Maschinen-  
bauteile produzieren –  
wie diese Kraftstoff-  
Einspritzdüsen für Gas-  
turbinen. Sie bestehen  
aus einer Kobalt-Chrom-  
Legierung und werden  
mit Lasersintergeräten  
produziert. Auch  
Zierstücke fürs  
Wohnzimmerregal sind  
herstellbar, zum Beispiel  
filigrane Ringstrukturen  
aus Glas (rechts).



Natürlich ließen sich per AM nicht nur Gussformen, sondern auch gleich die Endprodukte selbst herstellen. Doch für große Stückzahlen ist AM wohl auf absehbare Zeit zu teuer. Das hat zwei Gründe: Erstens arbeiten die Maschinen vergleichsweise langsam, da die Bauteile schrittweise aus bis zu 20 Mikrometer dünnen Schichten aufgebaut werden. Zudem sind die Baumaterialien meist sehr teuer. Doch gerade bei kleineren Serien bietet AM auch Kostenvorteile: Es entfallen Zeit und Kosten für die Gussform, und über eine geschickte Konstruktion lässt sich die Zahl der Einzelteile – und damit der Montageaufwand – reduzieren. Simon Marriott, Managing Director beim australischen AM-Dienstleister Formero, nennt als Beispiel die Medizintechnik-Firma Vesda, die ein Teil eines Gasanalyse-Geräts von 24 Einzelteilen dank AM auf ein einziges reduziert hat. Bei einer Stückzahl von knapp 500 konnte dadurch der Herstellungspreis um fünf Prozent gesenkt werden.

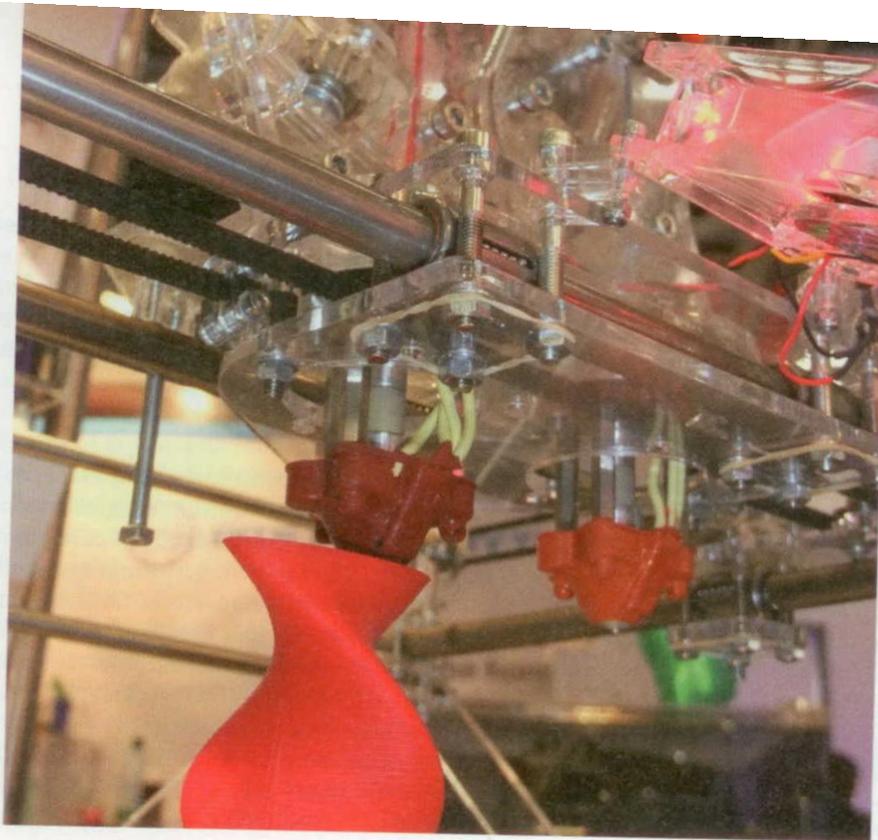
**In der Luftfahrtindustrie etwa** sind AM-Produkte bereits in fünfstelligen Stückzahlen unterwegs. Der US-Hersteller „Manufacturing on Demand“, 2002 als Spin-off von Boeing gegründet, hat mit AM-Verfahren nach Angaben von Program Manager Chris Glock bereits rund 20 000 Bauteile in die Luft gebracht – etwa komplizierte Luftkanäle für Militärflugzeuge. Die Stärken der AM-Technologie erläutert Glock an einem Beispiel: Herkömmlich musste ein bestimmter Luftkanal aus 19 einzelnen Komponenten zusammengesetzt werden. Der per Lasersintern hergestellte Kanal besteht nur noch aus einem einzigen Teil. Dadurch hat sich nicht nur das Gewicht halbiert – auch der Aufwand für die Sicherheitszertifizierungen der einzelnen Stücke hat sich auf ein Viertel reduziert. Sogar bei tragenden Teilen kommt AM zum Einsatz: Die US-Firma Aerotonomy etwa baut komplette Tragflächen für Drohnen mit dem Schichtbau-Verfahren. Und auch schlichtere Produkte wie iPhone-Halterungen lassen sich nach Schätzung von Simon Marriott schon in Serien von 500 bis 1000 Stück wirtschaftlich herstellen, weil Aufwand und Zeit für die Erstellung einer Gussform wegfallen.

**„Additive Manufacturing wird** den Markt für einfache und simple Produkte verändern“, glaubt Marriott. „Die Kosten, um Innovationen auf den Markt zu bringen, sinken dadurch dramatisch.“ Neben Industrie und Medizin beginnt gerade eine wachsende Zahl von Designern auszuloten, welche neuen Produkte und Geschäftsideen auf Basis der AM-Technologie gedeihen können (siehe Seite 68). Als wahrer Kreativitäts-Turbo hat sich dabei das Geschäftsmodell von Shapeways erwiesen: Wer eine Designidee hat, kann sie – wie beim T-Shirt-Bedrucker Spreadshirt – bei Shapeways in den Online-Produktkatalog einstellen und bekommt für jedes verkaufte Objekt eine selbst festgelegte Marge. Produktion, Versand und Abwicklung übernimmt Shapeways. „Jeder ist ein Designer – und jeder ein Hersteller“, sagt Terry Wohlers, Chef der auf AM spezialisierten Unternehmensberatung Wohlers Associates.

Jede Woche laden 3D-Druck-Fans bei Shapeways etwa 2500 neue Produkte hoch, zu einem Durchschnittspreis von 11,50 Euro. Darunter finden sich zu Hauf Schmuckstücke, Skulpturen, Spiele oder Designobjekte mit biologisch oder mathematisch inspirierten Geometrien – Edelstahl-Armreifen aus einer filigranen DNA-Doppelhelix zum Beispiel. Der Journalist und Branchenkenner Rein van der Mast erwartet gar eine „Wiederkehr des Jugendstils“, weil sich mit AM-Verfahren verschlungene Formen höchst einfach produzieren lassen.

Von den insgesamt rund 80 000 Produkten in der Shapeways-Datenbank lassen sich rund 650 wie die Light Poems personalisieren, vom Kugelschreiber über Manschettenknöpfe, Müslischalen und Stempel bis hin zu Foto-Reliefs. Ein ähnliches Geschäftsmodell verfolgen seit 2006 der Leipziger Dienstleister RealityService GmbH oder das neuseeländische Unternehmen Ponoko. Einige Dienstleister haben sich auf bestimmte Anwendungen spezialisiert: FigurePrints etwa druckt ausschließlich Avatare aus dem Online-Spiel „World of Warcraft“ aus, LandPrint erstellt dreidimensionale Landschaften (siehe Seite 68).

3D-Drucker für zu Hause: Die Firma „Bits from Bytes“ bietet ihren „RapMan“ für weniger als 1000 Euro an. Ausgangsmaterial ist roter Kunststoff-Draht. Er wird zu einer Spritzdüse geführt, erhitzt und lagenweise verschmolzen – in diesem Fall zu einem spiralförmigen Objekt.



Für Frank Piller, Management-Professor an der RWTH Aachen und Co-Direktor der Smart Customization Group am Massachusetts Institute of Technology, sind Dienste wie Shapeways ein gutes Beispiel dafür, wie AM-Verfahren die sogenannte „Mass Customization“ voranbringen – also die Fertigung individueller Produkte im großen Maßstab. „Additive Manufacturing verändert hier wirklich das Spiel“, sagte Piller auf der International Wohlers Conference im Dezember in Frankfurt. Die physikalische Grundlage für Produkte mit der Stückzahl eins ist mit AM-Maschinen schon gelegt. Was hingegen noch ganz am Anfang steht, ist die „Gestaltung der Lösungsräume“, wie es Frank Piller nennt.

**Selbst beim Vorreiter Shapeways** ist der Lösungsraum noch vergleichsweise begrenzt. Kunden können beim Light Poem etwa freien Text angeben und ansonsten nur noch zwischen vier Farben und zwei Materialien wählen. Mit weiteren Optionen potenziert sich allerdings auch die Komplexität der Schnittstelle. Theoretisch könnten Kunden sich beispielsweise Schuhe oder Schmuckstücke nicht nur nach ihren persönlichen Maßen anfertigen lassen, sondern auch ihre Form frei gestalten.

Doch wo sind die technischen und wirtschaftlichen Grenzen dieser Wahlfreiheit? Welche Optionen sind Spielerei, welche essenziell? Wenn Kunden zu vielen Wahlmöglichkeiten ausgesetzt seien, könne der Aufwand, die Varianten zu evaluieren, den erhöhten Nutzen der vielen Optionen leicht übersteigen, warnt Piller. Eine entsprechende Schnittstelle müsste das Meer der Möglichkeiten für Nutzer überschaubar machen und gleichzeitig noch technische Restriktionen wie etwa Mindest-Wandstärken berücksichtigen, ohne die Kreativität zu sehr einzuengen. „Das Problem ist nun nicht mehr, etwas zu bauen, sondern etwas anzubieten. Wir müssen den Verkaufsprozess neu erfinden und herausfinden, was die Kunden wirklich wollen“, fordert Piller. „Additive Manufacturing verlangt nach ganz neuen Fähigkeiten für das Design des Lösungsraums. Das haben viele Ingenieurschulen noch nicht erkannt.“

Leuchtendes Beispiel: Das Lampenmodell „Palm“ gehört zur Produktpalette des niederländischen 3D-Druck-Spezialisten FOC. Der Schirm wird zunächst am Computer vorgezeichnet. Nach den virtuellen Vorgaben verschmilzt ein Laserstrahl dann Schicht um Schicht eines speziellen Kunststoffpulvers zur gewünschten Lampenform. Entfernt man schließlich das überzählige Pulver, ist der Lampenschirm einsatzbereit.

Visionäre wie der Science-Fiction-Autor Neal Stephenson (siehe TR 11/10) und Neil Gershenfeld, Direktor des Centers for Bits and Atoms am Massachusetts Institute of Technology, gehen noch einen Schritt weiter (siehe Interview Seite 75). Ihnen schwebt vor, dass AM-Maschinen irgendwann zur alltäglichen Haushaltsausstattung gehören, so wie heute Tintenstrahldrucker und Mikrowelle. Fehlt eine Kaffeetasse, hat das Handygehäuse einen Sprung oder will man eine selbst gestaltete Obstschale verschenken, werden die Gegenstände gleich am Schreibtisch



ausgedruckt. Was den Preis der Hardware betrifft, ist der 3D-Drucker für den Hausgebrauch tatsächlich längst in Reichweite. Unternehmen wie „Bits from Bytes“ oder „MakerBot“ bieten Bausätze bereits für unter 1000 Euro an – weniger, als mancher für einen Plasmafernseher ausgibt. Rund 2500 Exemplare hat Bits from Bytes schon von seinem „RapMan“ verkauft, die meisten davon an Schulen und Universitäten. Pro Kilo kostet das Baumaterial, ein thermoplastischer Kunststoff, 50 Euro, ein Bauteil von der Größe einer Wasserflasche kommt damit auf rund zehn Euro. Und seit der Großkonzern Hewlett-Packard im Mai 2010 begann, 3D-Drucker der Firma Stratasys unter eigenem Namen zu vertreiben, scheint der Weg von der Nische in den Massenmarkt endgültig gebnet. Experten erwarten, dass auch andere Druckerhersteller wie Canon auf den 3D-Zug aufspringen werden.

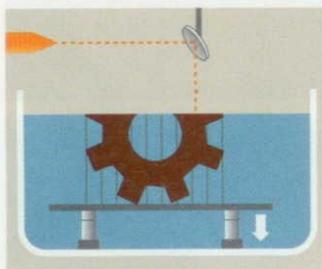
Doch eine preiswerte AM-Maschine ist nur der erste Schritt. Eine ebenso entscheidende Frage ist: Woher sollen die Konstruktionsdaten kommen? Bei einschlägigen Online-Communitys lassen sich zwar fertige 3D-Datensätze für alle möglichen Gegenstände herunterladen. Aber eine einfache und preiswerte

Software, mit der Nutzer ihre eigenen Entwürfe gestalten können, ist nicht in Sicht (siehe Seite 70). Derzeit arbeitet die 3D-Druck-Szene in der Regel mit CAD-Programmen, die sich vor allem an Profis richten. „Die meisten unserer Nutzer haben einen Konstruktionshintergrund“, sagt Andy McLaren, Sales- und Marketing-Direktor beim Billigdrucker-Hersteller Bits from Bytes.

**Ein weiteres Element**, das den Hausgebrauch von 3D-Druckern sinnvoll macht, steckt ebenfalls noch in den Kinderschuhen: erschwingliche und robuste 3D-Scanner. Mit solchen Geräten ließe sich etwa ein gesprungenes Staubsaugergehäuse einscannen und replizieren. Doch die aktuellen Scanner sind – bis auf wenige Ausnahmen – für den professionellen Bedarf entwickelt worden und entsprechend teuer. „Es ist eine interessante Idee, Scanner und 3D-Drucker zu einem Paket zu bündeln“, sagt Andy McLaren. „Daran arbeiten wir schon.“

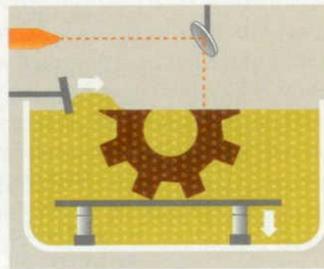
Experten bezweifeln, ob die Vision „Ein 3D-Drucker in jedem Haushalt“ überhaupt sinnvoll ist – es gebe schließlich genug Dienstleister, die Datensätze für wenig Geld auf hochwertigen

## Herstellungsverfahren



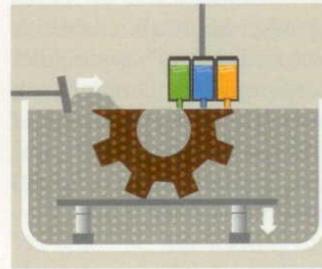
### STEREOLITHOGRAFIE

**Prinzip:** Ein Laserstrahl schreibt die Kontur des Werkstücks auf die Oberfläche eines mit flüssigem Kunstharz gefüllten Beckens. Das belichtete Harz härtet aus – bis in eine Tiefe von 50 bis 150 Mikrometern. Nach jeder Schicht wird die Plattform, auf der das entstehende Bauteil ruht, gerade so weit abgesenkt, dass die Oberfläche wieder mit Kunstharz benetzt wird. Damit überhängende Bauteile nicht im Harz absinken, muss eine Stützstruktur erzeugt werden.  
**Vorteile:** Hohe Oberflächengüte.  
**Nachteile:** Teuer, nur wenige Materialien verfügbar, Stützstruktur nötig.  
**Anwendungen:** Hörgeräte-Gehäuse, hochwertige Prototypen.  
**Anbieter:** 3D Systems, ([www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)); Huntsman, ([www.huntsman.com/advanced\\_materials](http://www.huntsman.com/advanced_materials))



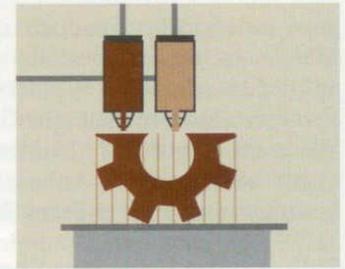
### SELECTIVE LASER SINTERING

**Prinzip:** Ein Kunststoff- oder Metallpulver wird von einem Laser zu 20 bis 200 Mikrometer dünnen Schichten verschmolzen. Nach jeder Laserbelichtung trägt ein Schieber eine neue Pulverschicht auf.  
**Vorteile:** Hohe mechanische Belastbarkeit, große Auswahl an Materialien, sehr vielseitig einzusetzen.  
**Nachteile:** Teuer, leicht raue Oberfläche.  
**Anwendungen:** Prototypen und Endprodukte in Industrie und Medizin.  
**Anbieter:** EOS, ([www.eos.de](http://www.eos.de)); MTT, ([www.mtt-group.com](http://www.mtt-group.com))



### 3D-DRUCK

**Prinzip:** Mehrere Tintenstrahl-Druckköpfe tragen schichtweise ein Gemisch aus farbiger Tinte und Bindemittel auf ein pulverförmiges Substrat auf und verfestigen es. Anschließend wird es gegebenenfalls mit einer Art Sekundenkleber imprägniert.  
**Vorteile:** Preiswert, auch mehrfarbige Teile möglich.  
**Nachteile:** Raue Oberfläche, geringe mechanische Festigkeit, wenige Materialien verfügbar, nicht für Endprodukte geeignet.  
**Anwendungen:** Mit Gips oder Kunststoff als Substrat: Anschauungsobjekte und Modelle; mit Gussand: Gussformen.  
**Anbieter:** Z-Corporation, ([www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/spage.aspx](http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/spage.aspx)); Voxjet, ([www.voxjet.de](http://www.voxjet.de))



### FUSED DEPOSITION MODELING

**Prinzip:** Eine Düse trägt schichtweise geschmolzenen Kunststoff auf, der beim Erkalten aushärtet.  
**Vorteile:** Preiswert, relativ glatte Oberfläche, auch für Endprodukte geeignet.  
**Nachteile:** Wenige Materialien verfügbar, Stützstrukturen notwendig.  
**Anwendungen:** Anschauungsobjekte, Prototypen und Endprodukte.  
**Anbieter:** Stratasys, ([www.stratasys.com](http://www.stratasys.com)); Bits from Bytes, ([www.bitsfrombytes.com](http://www.bitsfrombytes.com)); MakerBot, ([www.makerbot.com](http://www.makerbot.com))

Maschinen ausdrucken. „Es gibt keinen Markt für Heim-3D-Drucker“, meint Terry Wohlers, „höchstens als Unterhaltung für Kinder.“ Zudem verarbeiten die einfachen Geräte für den Haus- und Bürogebrauch jeweils nur einen bestimmten Werkstoff. Dienstleister mit einem großen Park unterschiedlicher AM-Maschinen können hingegen eine breite Auswahl unterschiedlicher Baumaterialien anbieten.

Allein die Firma EOS mit Sitz im bayerischen Krailling, Marktführer für Laserschmelz-Maschinen, hat beispielsweise drei Werkstoffe für Sandgussformen, elf Metalllegierungen und 15 Kunststoffe im Angebot – darunter neuerdings auch ein Elastomer, mit dem sich etwa Schlauchverbindungen oder Dichtungen herstellen lassen. Kürzlich hat EOS eine eigene Lifestyle-Arbeitsgruppe gegründet, die AM-Prozesse für Gold und weitere Edelmetalle entwickeln soll. Andere Anbieter können Keramik, transparenten Kunststoff und sogar Glas verarbeiten. Bochumer Forscher arbeiten zudem an AM-Varianten von Formgedächtnis-Legierungen.

Das klingt nach viel, doch angesichts der riesigen Materialvielfalt, aus der Ingenieure bei herkömmlichen Herstellungs-

verfahren wählen können, bleibt die Werkstoffauswahl ein Flaschenhals für die industrielle Verbreitung von AM. Zudem ist es – außer mit der vor allem für den Prototypenbau benutzten Polyjet-Technologie (siehe Kasten) – noch nicht möglich, Bauteile aus mehreren Materialien herzustellen.

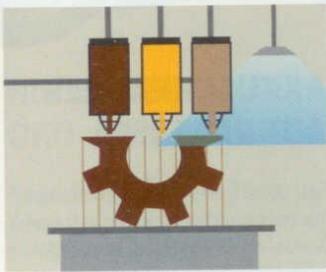
**Die Aufgabe, neue Materialien** in die AM-Prozesse zu integrieren, ist alles andere als trivial (siehe Seite 72). Es gibt viele Stellschrauben, mit denen sich entweder die Festigkeit des Bauteils oder die Schnelligkeit des Prozesses optimieren lässt.

Das wirft ein weiteres Problem auf: Beim Guss oder beim Schmieden wissen Konstrukteure durch jahrzehntelange Erfahrung ganz genau, wie sie ein Werkstück aus einer bestimmten Legierung für eine bestimmte Belastung auslegen müssen. Bei der additiven Fertigung fehlen diese Erfahrungswerte noch, ebenso wie Auslegungsnormen und Standards. Als Lösung für dieses Problem hat EOS die „Part Property Profiles“ aufgesetzt – einen Satz von Verarbeitungsparametern, die dem Kunden garantieren sollen, dass die Bauteile aus einem bestimmten Werkstoff genau definierte Kennwerte – beispielsweise zur Festigkeit – einhalten.

Die enge Verknüpfung von Material und Maschine führt allerdings auch dazu, dass die Grundstoffe fast ausschließlich von den Herstellern der Maschinen angeboten werden. Experten fürchten bereits, dass das „Tintenstrahldrucker-Syndrom“ auch in der AM-Branche um sich greifen wird: Die Hersteller machen ihre Maschinen immer preiswerter, schlagen dafür aber immer höhere Margen auf das Verbrauchsmaterial auf. „Die Kosten für AM-Material sind 30- bis 50-mal so hoch wie für Gussmaterial“, sagt Michael Siemer, Präsident des US-Dienstleisters Mydea, und fordert „Open-Source-Werkstoffe“. Chemie-Riesen wie BASF zögern, mit eigenen Materialien in den AM-Markt einzutreten – zu groß ist offenbar noch die Komplexität, zu klein der Umsatz.

Mit der weiteren Verbreitung der 3D-Technologie werden sich auch ganz neue Probleme ergeben – zum Beispiel beim geistigen Eigentum. Wenn jemand etwa eine Alessi-Zitronenpresse einscannt und die Daten zum Download ins Netz stellt – hat er damit eine Urheberrechtsverletzung begangen? Wird es eine Raubkopie-Szene für Designobjekte geben? Oder werden Design-Firmen die 3D-Daten ihrer Bauteile irgendwann über iTunes oder Amazon verkaufen? Und muss, wer die Daten für einen selbst designten Babyschnuller zum Download anbietet, sich an die gleichen Sicherheitsvorschriften halten wie ein gewerblicher Hersteller? Eine Antwort darauf ist noch nicht abzusehen, aber die ersten Anwälte haben das Thema schon für sich entdeckt.

**Ein Antreiber für AM-Techniken** dürften die Schwellenländer sein. Hier könnten preiswerte und robuste Maschinen die Grundlage legen für eine Art Graswurzel-Bewegung der Produktion, die sich von der westlichen Massenherstellung emanzipiert. Die „Fabbing“-Bewegung von Neil Gershenfeld betreibt überall auf der Welt kleine Werkstätten, in denen Bürger selber Gebrauchsgegenstände bauen oder reparieren können (siehe Seite 74). Marktforscher Terry Wohlers ist überzeugt, dass Additive Manufacturing in vielen Bereichen der Gesellschaft die Spielregeln neu setzen kann: „Noch nie hatte ein Herstellungsverfahren so einen Impact.“



#### POLYJET TECHNOLOGY

**Prinzip:** Aus einer Düse wird schichtweise flüssiges Harz aufgetragen, das unter UV-Licht aushärtet.

**Vorteile:** Preiswert, relativ glatte Oberfläche, mehrere Farben und Materialien kombinierbar, auch feste und elastische.

**Nachteile:** Nur wenige Materialien verfügbar, nicht für Endprodukte geeignet.

**Anwendungen:** Anschauungsobjekte und Prototypen.

**Anbieter:** Objet, ([www.objet.com](http://www.objet.com))

# DINGE AUS DEM DRUCKER

Die Bandbreite der Anwendungen von 3D-Druckverfahren ist kaum noch zu überschauen. TR zeigt eine kleine Auswahl der Produkte.

VON GREGOR HONSEL



## PREISWERTE PROTHESEN

Das Unternehmen Bespoke Innovations in San Francisco fertigt die äußeren, formgebenden Teile von Beinprothesen nach Maß an. Zunächst wird der Kunde eingescannt, damit die Prothese genau zum erhaltenen Bein passt. Anschließend wird sie auf einer Lasersintermaschine ausgedruckt. Die Oberfläche kann je nach Kundenwunsch strukturiert, mit Leder bezogen oder auch verchromt werden. Wegen ihrer individuellen Anpassbarkeit soll eine solche Beinverkleidung nach Angaben des Herstellers besser sein als eine zehnfach so teure traditionelle Prothese.

**Hersteller:** Bespoke Innovations  
**Verfahren:** Lasersintern  
**Material:** Polyamid  
**Preis:** 5000 bis 6000 Euro  
**Link:** [www.bespokeinnovations.com](http://www.bespokeinnovations.com)

## MIKADO-HOCKER

Die belgische Firma Materialise verdient ihr Geld in erster Linie mit Software für 3D-Druck und -Konstruktion. Die Tochtergesellschaft MGX gibt internationalen Designern die Möglichkeit, die geometrischen Freiheiten des 3D-Drucks auszuloten. Ein Ergebnis ist der OneShot-Hocker des französischen Designers Patrick Jouin. Er lässt sich wie ein Bündel von Mikado-Stäben zusammen- und auseinanderfalten – und besteht doch nur aus einem einzigen Bauteil, das mit sämtlichen Scharnieren am Stück ausgedruckt wurde. Die Sitzgelegenheit wurde bereits in einem halben Dutzend Museen ausgestellt, darunter auch im New York Museum of Modern Art. Mitte Februar wurde der Hocker in die permanente Sammlung des High Museum of Art in Atlanta aufgenommen.

**Hersteller:** MGX by Materialise  
**Verfahren:** Lasersintern  
**Material:** Polyamid  
**Preis:** 2000 Euro  
**Link:** [www.mgxbymaterialise.com](http://www.mgxbymaterialise.com)

## MUMIE NACH MASS

Die Mumie des berühmten ägyptischen Pharaos Tutanchamun halb um die Welt zu schicken, ist völlig undenkbar. Deshalb wurde für eine Ägypten-Ausstellung in New York ein naturgetreuer Doppelgänger produziert. Die Maße der echten Mumie wurden dazu eingescannt, in ein digitales 3D-Modell überführt und auf einer Stereolithografie-Anlage ausgedruckt. Der US-Künstler Gary Staab schminkte den Kunstharz-Körper anschließend auf alt.

**Hersteller:** Materialise  
**Verfahren:** Stereolithografie  
**Material:** Kunstharz  
**Link:** [www.materialise.com](http://www.materialise.com)

## AKKUSCHRAUBER AUF RÄDERN

Seit 2003 finden an der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Hildesheim regelmäßig Rennen mit skurrilen Fahrzeugen statt. Die einzige Gemeinsamkeit der Vehikel: Sie dürfen ausschließlich von einem handelsüblichen 18-Volt-Akkuschrauber angetrieben werden. Was als Studentenjux begann, hat sich mittlerweile professionalisiert. Die Fakultät Gestaltung der HAWK tritt beim nächsten Rennen Ende Mai mit einem Gefährt an, dessen gesamtes Chassis am Stück von einem 3D-Drucker hergestellt wurde. Nur die Außenhaut des Rahmens ist massiv, darunter befindet sich eine von der Natur inspirierte („bionische“) Stützstruktur. Der Ausdruck des rund sechs Kilogramm schweren Rahmens dauerte zehn Tage.

**Hersteller:** HAWK Hildesheim  
**Verfahren:** Fused Deposition Modeling  
**Material:** ABS-Kunststoff (Acrylnitril-Butadien-Styrol)  
**Link:** [www.akkuschrauberrennen.de](http://www.akkuschrauberrennen.de)



## HIGH HEELS MIT ÖKO-APPEAL

Für große Stückzahlen und lange Wanderungen ist er nicht gedacht, der „Melonia“-Schuh der schwedischen Design-Studentinnen Naim Josefi und Souzan Youssouf. Dafür sorgte er selbst in der an Extravaganz gewöhnten Modewelt für Aufsehen, als er 2010 auf der Stockholm Fashion Show vorgeführt wurde. Die Schuhe wurden jeweils passgenau nach einem Fuß-Scan der Models hergestellt. Naim Josefi beschreibt ihre Fußobjekte als „relativ komfortabel“ und will sie künftig auch zum Kauf anbieten. Der gesamte Schuh besteht nur aus einem einzigen Material und kann entsprechend einfach recycelt werden – in der kurzlebigen Modebranche sicher kein Nachteil. Die High Heels wurden für den renommierten Brit Insurance Design Award nominiert.

**Hersteller:** Materialise  
**Verfahren:** Lasersintern  
**Material:** Polyamid  
**Link:** <http://twitter.com/NaimJosefi>

## LANDKARTEN MIT HÖHEN UND TIEFEN

Wer ein besonderes Andenken an seine letzten Ferien sucht, kann sich ein dreidimensionales Modell des ganzen Urlaubsgebiets bestellen. Über eine Java-Software wählt der Kunde online – ähnlich wie bei Google Earth – die entsprechende Landschaft im gewünschten Maßstab aus. Damit Berge deutlicher hervortreten, lässt sich die Höhe überproportional strecken. Da beim Druck durch Maschinen der Firma Z-Corp Gipspulver von einer farbigen Tinte verfestigt wird, entsteht eine durchgehend kolorierte Landschaft, in die sich auch GPS-Pfade der letzten Ski-, Fahrrad- oder Wandertour einzeichnen lassen.

**Hersteller:** 3D Outlook Corporation  
**Verfahren:** 3D-Druck  
**Material:** Gips  
**Preis:** ca. 40 bis 120 Euro plus Versand  
**Link:** [www.landprint.com](http://www.landprint.com)

## LASERSINTERN MIT BISS

Eine der ersten Branchen, die 3D-Druck nicht nur für Prototypen, sondern für hoch belastbare Endprodukte benutzte, war die Zahntechnik. Bereits seit 2006 fertigt der Dental-Dienstleister Sirona Kronen und Brücken auf einer Lasersintermaschine von EOS. Dazu wird ein Gebissabdruck des Patienten erstellt und eingescannt. Anschließend konstruieren Zahntechniker mit einem CAD-System den passenden Zahnersatz und schicken den Datensatz an Sirona. Dort wird aus einer Kobalt-Chrom-Legierung entweder ein Gerüst ausgedruckt, das später mit Keramik verblendet wird, oder komplett aus Metall bestehender Zahnersatz. Pro Maschine können mehrere Hundert Teile pro Tag hergestellt werden. Gegenüber dem Fräsen oder Gießen ist das Lasersintern laut Sirona deutlich wirtschaftlicher.

**Hersteller:** Sirona Dental Systems  
**Verfahren:** Lasersintern  
**Material:** Kobalt-Chrom-Legierung  
**Link:** [www.infinident.de](http://www.infinident.de)

## LEICHTER FORMEN

Die russische Firma Tushino Power Machine Tools stellt Wasserturbinen her, die jeweils individuell für ein bestimmtes Kraftwerk konstruiert werden. Die Modelle, von denen die Gussformen abgenommen werden, entstehen per Stereolithografie – und zwar deutlich schneller und preiswerter als mit herkömmlichem Fräsen. Da die Wand innen aus einer wabenförmigen Stützstruktur besteht, ist das Modell sehr leicht. Die Vorlage für das 1,50 Meter breite Gehäuse einer 12-Megawatt-Turbine im Foto wiegt beispielsweise nur 70 Kilo. Das spart Energie, wenn das Modell vor dem Gießen ausgebrannt wird.

**Hersteller:** Tushino Power Machine Tools  
**Verfahren:** Stereolithografie  
**Material:** Kunstharz  
**Link:** [www.3dsystems.com/products/sla/applications.asp](http://www.3dsystems.com/products/sla/applications.asp)



Gerasterte Gepardin: Um eine Skulptur der Raubkatze ausdrucken zu können, musste TU-Forscher Ben Jastram die Oberfläche seines Modells in kleine Dreiecke zerlegen. Die zugrundeliegenden Daten stammten von Computertomografie-Aufnahmen des Tieres.

# VOM PLAN ZUM PRODUKT

Wer selbst Objekte mittels 3D-Druck produzieren möchte, dem stehen preiswerte Geräte und Dienstleister zur Verfügung. Doch woher sollen die exakten digitalen Baupläne für die gewünschten Produkte kommen?

VON DENIS DILBA

**D**ie Mini-Fabrik im Wohnzimmer ist keine futuristische Vision mehr: Selbst entworfene Schmuckanhänger, Kaffeetassen mit zwei Henkeln oder der Ersatz für ein zerbrochenes Brillengestell – im Prinzip könnten moderne Hobbykonstruktoren schon heute vieles selber herstellen, was sie im Alltag brauchen. Die nötigen 3D-Drucker sind bereits für weniger als 1000 Euro zu haben. Ein Knopfdruck und die Maschine beginnt mit der Produktion?

Ganz so einfach funktioniert die Sache nicht. Denn eine Frage bereitet den Freizeitfabrikanten immer noch Kopfzerbrechen: Wie erstelle ich die Datenmodelle für den 3D-Drucker? Wie fütere ich das Gerät passgenau mit allen digitalen Informationen, die es benötigt, um loslegen zu können?

„Der einfachste Weg ist natürlich der, dass man bereits Daten hat“, sagt René Bohne, der im Rahmen der Media Computing

Group an der RWTH Aachen ein „Fab Lab“ betreibt, eine High-tech-Werkstatt für Laien, wie es sie weltweit inzwischen schon an 50 verschiedenen Standorten gibt (siehe Artikel Seite 74). Der Informatiker denkt zum Beispiel an die Webseite thingiverse.com, wo in einer Art „Universum der Dinge“ digitale Baupläne getauscht und weiterverbreitet werden. Mit der Erlaubnis des Bauplan-Urhebers könne man sich dort einen fertigen Datensatz einfach herunterladen, so Bohne. Vom kleinen Zahnrad bis zum aufwendigen Modell einer gotischen Kathedrale ist im Netz fast alles zu haben. Um erste Erfahrungen mit dem 3D-Druck zu sammeln, seien diese Datensätze ideal, sagt Bohne. „Richtig Spaß macht es aber erst, wenn man seine eigenen 3D-Modelle drucken kann.“

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, ein 3D-Modell zu erstellen: „Entweder modelliert man direkt in einer Software am Computerbildschirm, oder man scannt das entsprechende Objekt und bereitet die so erzeugten Daten weiter für den 3D-Drucker auf“, erläutert Ben Jastram, Experte für Datenerstellung im

3D-Labor der Technischen Universität Berlin. Für jede der beiden Varianten empfehle er vorsorglich einige Tage Bearbeitungszeit einzuplanen – und je nach Qualitätsanspruch an das fertige Druckprodukt auch hohe Kosten einzukalkulieren, nicht nur für die entsprechenden Programme, sondern auch für notwendige Hardware, beispielsweise einen Scanner.

Vor allem bei der Modellierungs-Software gebe es große Unterschiede, sagt der Wissenschaftler. Die Königsklasse dieser Programme kommt aus dem Maschinenbau und Industriedesign. „Solche komplexen Computer-Aided-Design(CAD)-Pakete wie SolidWorks, Pro/Engineer oder AutoCAD auf Anhieb zu beherrschen, ist schon ein kleines Kunststück“, sagt Jastram. Abgesehen davon sind die Programme mit Preisen von bis zu 10 000 Euro auch zu teuer für den nicht-professionellen Einsatz. Ihre Verwendung habe daher nur dort Sinn, wo extrem genaue Modelle gefordert sind, etwa bei der Konstruktion von Bauteilen für Autos, Flugzeuge oder in der Feinwerktechnik, meint Jastram. Er selbst hat mit der CAD-Design-Software „Rhino 3“ angefangen, mit rund 1000 Euro eine vergleichsweise günstige Variante.

Unabhängig vom eingesetzten Programm muss der Konstrukteur beim Erstellen seiner Modelle bestimmte Parameter einhalten. Je nach Druckverfahren sind beispielsweise spezielle Mindestwandstärken der Objekte erforderlich, meist im Millimeterbereich. Zudem muss der Gegenstand „wasserdicht“ definiert sein, das heißt, eine vollständig vorgegebene Oberfläche haben, ohne Lücken in den Angaben. Im schlimmsten Fall seien solche Stellen für 3D-Drucker nicht umsetzbar oder führten zu Fehlern, weiß Jastram aus Erfahrung. Profiprogramme bieten deshalb eine Prüffunktion für die Objekt-Oberfläche an.

**Sehr beliebt in der 3D-Druckszene** ist die relativ einfach zu bedienende Google-Software „SketchUp“, ursprünglich dazu entwickelt, Stadtansichten bei Google mit dreidimensionalen Gebäudemodellen zu bestücken. Die mit SketchUp erzeugten Dateien sehen am Bildschirm „einfach gut aus“, findet René Bohne. Trotzdem raten der Aachener Informatiker wie auch sein Berliner Kollege Jastram vom Gebrauch der Software ab. Denn das Abspeichern der Dateien im Standardformat für 3D-Drucker ist bei SketchUp nur in die Kaufversion integriert und funktioniert oft nicht fehlerfrei. Dieser Datenexport ist aber der entscheidende Schritt: Erst wenn die Modelle in das sogenannte Standard-Triangulation-Language-Format, kurz STL, umgewandelt sind, bei dem die Objekt-Oberfläche in kleine Dreiecke zerlegt ist, kann ein 3D-Drucker seinen Job erledigen. Die anfangs etwas schwerer zu erlernende Open-Source-3D-Software „Blender“ oder die aktuelle Version des Programms Rhino haben mit der Konvertierung keine Probleme und sind daher nach Ansicht der beiden Experten für den Einstieg empfehlenswerter.

Ein bisschen mitdenken muss der Nutzer aber bei jeder Software, wenn der STL-Speichervorgang reibungslos klappen soll, warnt Andreas Fischer vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung in Stuttgart: „Wird die Auflösung der Dreiecke nicht fein genug gewählt, können vorher runde Teile bei dem Schritt eckige Oberflächen bekommen.“ Wer sich vor kantigen Überraschungen

beim fertigen Ausdruck schützen wolle, sollte daher eine Einstellung wählen, bei der die Dreiecke kleiner als die Schichtdicke des 3D-Druckers sind, sagt der Experte für generative Fertigung.

Aus diesem Grund raten Fachleute auch grundsätzlich dazu, sich mit der Technologie des eingesetzten 3D-Druckers zu befassen. Insbesondere dann, wenn die Eigenentwürfe später von einem Dienstleister wie der belgischen Firma Materialise angefertigt werden sollen. Bei feiner Auflösung werden die STL-Dateien von komplexeren Produktskizzen nämlich schnell so groß, dass Drucker die Datenflut nicht mehr bewältigen können. „Bei rund 200 Megabyte ist für die meisten einfachen Geräte Schluss“, sagt Fischer. Kleinere Eigenkreationen wie Modellautos oder Vasen blieben aber in der Regel unter der 200-Megabyte-Grenze.

**Möchte man einen Gegenstand** mit dem 3D-Drucker einfach nur kopieren, kommen 3D-Scanner zum Einsatz. Beim Scannen werden oft noch größere Datenberge erzeugt als beim Modellieren. „Die Frage ist immer: Welche Präzision brauche ich für meinen Ausdruck?“, sagt Ben Jastram. Kommerzielle Scannersysteme lieferten zwar hochgenaue Grunddaten. Sie kosteten jedoch auch entsprechend: Desktop-Laser-Scanner für Objekte bis zum Volumen einer Pampelmuse bekomme man für knapp unter 3000 Euro, bei Großgeräten sei mit fünfstelligen Beträgen zu rechnen, so Jastram. Darüber hinaus müsse der Datensatz nach dem Scannen noch geprüft, nachbearbeitet und wieder in STL-Format gebracht werden. Jastrams Fazit: „Für den Heimgebrauch schießen solche Profi-Scanner weit über das Ziel hinaus.“

Wenn es nur für eine grobe Kopie der Lieblings-Kaffeetasse reichen soll, rät RWTH-Forscher Bohne zur Do-it-yourself-Lösung. Einen Laser, der eine Lichtlinie zum Abtasten des gewünschten Gegenstands erzeugt, und eine Webcam zum Aufnehmen der Lasersignale gebe es schon für jeweils 20 Euro, sagt Bohne. Dann müsse man nur noch die Open-Source-Software MakerScanner installieren, die Webcam anschließen und kalibrieren, den Laser auf das Objekt richten – und es Schritt für Schritt von allen Seiten mit der Lichtlinie überstreichen. „Die resultierenden Druckergebnisse sind zwar recht bescheiden, aber trinken kann man aus solchen Tassen“, resümiert Bohne. Noch einfacher geht es mit der App „Trimensional“: Sie macht das iPhone 4 zum mobilen 3D-Scanner und soll in Kürze auch einen STL-Export bieten. „Von der groben Auflösung der Handy-Kamera sollte man keine Wunder erwarten“, sagt Bohne. „Spaß macht die Anwendung aber allemal.“

Probestück: Die ausgedruckte Plastik dient als Anschauungsobjekt. Für einen realistischen Eindruck ist der sorgfältige Umgang mit Scandaten notwendig.





Vielseitiges Instrument:  
Die Kunststoffgeige von  
EOS hatte einen klang-  
vollen Auftritt auf der  
Messe EuroMold 2010  
in Frankfurt am Main.

# VERKEHRTE WERKSTOFF-WELT

Die Entwicklung von Baustoffen für die additive Fertigung stellt die üblichen Optimierungsregeln auf den Kopf: Nicht das Material muss sich dem Herstellungsverfahren anpassen, sondern das Verfahren dem Material.

VON WOLFGANG RICHTER

**D**ass die Geige einen guten Klang hat, ist eigentlich Nebensache. Viel wichtiger: Sterilisierbarkeit, hervorragende Chemikalienresistenz sowie bestes Brand-, Rauch- und Toxizitätsverhalten. Damit ist klar, dass die Geige nicht aus Holz sein kann. „Peek HP3“ nennt die Münchener Firma EOS den Werkstoff, aus dem sie Korpus und Steg jeweils in einem Arbeitsgang gefertigt hat. Ein Laserstrahl hat dafür den pulverisierten Kunststoff „gesintert“, also Körnchen für Körnchen aufgeschmolzen, um so die gewünschte Form in Schichten herzustellen. Dieses Verfahren ist beim Additive Manufacturing (AM) die gebräuchlichste Methode, um belastungs-

fähige Endprodukte für den praktischen Einsatz herzustellen. Auf der Geige aus Peek HP3 ließ EOS letzten Dezember eine Violinistin des tschechischen Symphonieorchesters bei einer Messe aufspielen. Das Unternehmen wollte damit zeigen, dass neue, für AM geeignete Materialien althergebrachte ersetzen können.

Der Marktführer beim Lasersintern mit weltweit fast 1000 installierten Geräten sieht die Anwendungsgebiete seines Kunststoffes allerdings nicht im Geigenbau, sondern vor allem in der Medizin, der Luftfahrt und in der Automobilindustrie. Dort soll das leichte Material schwerere Metalle ersetzen. Um Peek HP3 verarbeiten zu können, hat die Firma eine neue Sinteranlage konstruiert, die den hohen Schmelzpunkt von 372 Grad Celsius erreichen kann.

Foto: EOS

Das Bemerkenswerte daran: Der Werkstoff ist keineswegs neu. Er gehört zur Klasse der Polyaryletherketone (englische Abkürzung: Peek), aus denen die Industrie seit Jahren Bauteile für hohe Beanspruchungen fertigt. Der Begriff „Werkstoffentwicklung“, den Firmen wie EOS gern gebrauchen, ist daher bei AM-Verfahren wie dem Lasersintern ein bisschen anders zu verstehen als üblich: Die Kunst besteht darin, die Eigenschaften des Pulvers und die Parameter des Sintersystems so zu wählen, dass die resultierenden Gegenstände die gleichen Materialeigenschaften besitzen wie traditionell hergestellte – nur dass ihnen jetzt die fast grenzenlosen Gestaltungsmöglichkeiten der AM-Welt offenstehen.

Während Peek HP3 in Zusammenarbeit mit dem Kunststoff-Hersteller Victrex entstanden ist, kommen mittlerweile immer mehr Impulse zur Entwicklung von AM-Materialien von den Fertigungsbetrieben selbst. „Auch nach sechs Jahren im Geschäft ist es oft noch schwierig, Kunden vom Laser-Generieren zu überzeugen“, sagt Ralph Mayer von der LBC GmbH in Kornwestheim. „Da ist es natürlich vertrauensbildend, wenn man Materialien anbieten kann, die den Auftraggebern geläufig sind.“ Mayer fertigt auf Sinteranlagen von EOS vor allem Formen für den Spritzguss.

**Ralph Mayer verwendet** dazu das Pulver einer hochwertigen Stahlliegierung mit Nickel, Molybdän und Kobalt, die in Europa mit der Kennziffer 1.2709 bezeichnet wird. „Wir sind auf EOS zugegangen, um gemeinsam den Sinterprozess für dieses Material zu entwickeln“, erzählt er. „Das ist keine triviale Angelegenheit, denn man kann hier an vielen Stellschrauben drehen.“ Zum Beispiel müssen Laserleistung, Strahldurchmesser, Geschwindigkeit des Lasers, Strömung und Art des verwendeten Schutzgases, die Dicke der einzelnen Pulverlagen und die Geschwindigkeit, mit der eine neue Schicht aufgetragen wird, aufeinander abgestimmt werden.

Über die optimalen Einstellungen für den Stahl 1.2709 schweigen Ralph Mayer und EOS eisern, zu groß ist die Angst, dass Mitbewerber in dieser noch jungen Branche den technologischen Vorsprung aufholen könnten. Ein Geheimnis ließ sich EOS aber doch entlocken – weil es inzwischen patentiert wurde: Um die Qualität der Produkte aus 1.2709 weiter zu verbessern, hat die Firma das Verfahren der „rotierenden Belichtung“ entwickelt. Normalerweise belichtet der Laser die Metallpulverschichten streifenweise: eine Pulverlage in Querrichtung, eine Lage in Längsrichtung, immer um 90 Grad versetzt. Die neue, rotierende Belichtung dreht sich indes nur um 67 Grad pro Schicht. Die aufgeschmolzenen Streifen der verschiedenen Pulverschichten liegen dadurch in immer neuen Winkeln zueinander. So verteilen sich mechanische Spannungen im fertigen Bauteil besonders homogen – und führen nicht so schnell zum Bruch.

Der Preis für ein Kilo des hochwertigen 1.2709-Stahls ist sein Preis: 40 Euro pro Kilo. Kostenet allein der Rohstahl, das fertige Pulver von EOS kommt auf 200 Euro. Der weltweit verbreitetste Warmarbeitsstahl mit der Kennnummer 1.2343 ist dagegen schon für sechs bis acht Euro zu haben, in Pulverform liegt sein Preis bei maximal 100 Euro je Kilo. Christoph Over von der CFK GmbH in Kriftel hat

sich deshalb der Herausforderung gestellt, diesen Stahl mit dem Laserschmelzverfahren zu bearbeiten. „Im Prinzip ist Laserschmelzen nichts anderes als Schweißen“, erklärt Over. Das Datenblatt für 1.2343 aus dem Stahlwerk empfiehlt jedoch, genau dies tunlichst zu vermeiden. Denn beim raschen Abkühlen nach dem Schweißen geht der Stahl in eine neue Kristallstruktur über, den Martensit. Dabei stehen ihm die in 1.2343 zahlreich vorhandenen Kohlenstoff-Atome im Weg: Es bilden sich Spannungen, die das Material hart, aber auch sehr spröde machen.

Over nutzt daher spezielle Laserschmelzgeräte der Firma Trumpf, die CFK optimiert hat. Ihre gesamte Arbeitskammer lässt sich auf bis zu 500 Grad Celsius aufheizen, ohne dass die empfindliche Laseroptik beeinträchtigt wird. Bei solch hohen Temperaturen können sich die Kohlenstoff-Atome im Kristallgitter bewegen und mithin Spannungen abbauen. „Dieses Verfahren ist im Stahlbau weit verbreitet, um harte und zähe Materialien zu erhalten. Wir haben es nun für das Laserschmelzen adaptiert“, sagt Over. Er erwartet, dass sich so künftig noch mehr geeignetes Baumaterial für die additive Fertigung finden wird.

Mit neuen Werkstoffen lassen sich dann vermutlich auch weitere Anwendungen für AM erschließen. Ob sie tatsächlich genutzt werden, hängt vom Vertrauen der Kunden in die neue Technologie ab. Bis Ende des Jahres will der Verein Deutscher Ingenieure deshalb eine einheitliche Richtlinie für die Materialprüfung von Bauteilen aus additiver Fertigung vorlegen. Sie soll auch die Zertifizierungsverfahren für Medizin und Luftfahrt beschleunigen. Der Kunststoff Peek HP3 der EOS-Geige ist bereits auf einem guten Weg. Im Februar stellte das Unternehmen gemeinsam mit der Uniklinik Maastricht Prototypen eines speziellen Produkts vor: besonders biokompatible Schädelprothesen. <

#### MARKTREIFE BAUSTOFFE ZUM LASERSINTERN

MATERIAL	EIGENSCHAFTEN	TYPISCHE ANWENDUNGEN
Warmarbeitsstahl 1.2343	hohe Warmfestigkeit und Zähigkeit, kostengünstig	Werkzeuge für Spritzguss und Druckguss
Hochleistungsstahl 1.2709	hochfest, zäh, leicht bearbeitbar, guter Wärmeleiter	Werkzeuge für Spritz- und Druckguss, Luftfahrt
Edelstahl	hochfest, leicht härtbar, korrosionsbeständig	Medizin, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau
Titanlegierungen	leicht, hochfest, biokompatibel, korrosionsbeständig	Medizin, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau
Kobalt-Chrom-Legierungen	biokompatibel, korrosions- und temperaturbeständig, fest	Zahnersatz, Bauteile für Turbinen
Aluminiumlegierungen	leicht, hohe Wärmeleitfähigkeit	Automobil- und Maschinenbau
Nickellegierungen	gut härtbar, zugfest, korrosions- und temperaturbeständig	Luft- und Raumfahrt, Motorsport, Marine
Metallgemische auf Bronzebasis	schneller Aufbau, einfache Nachbearbeitung	Werkzeugbau, Prototypen
Polyaryletherketone	verschleißbeständig, biokompatibel, zugfest, Metalleersatz	Medizin, Luft- und Raumfahrt, Automobilbau
Polyamid 12	chemikalienbeständig, hochtemperaturstabil, biokompatibel, Nachbearbeitungsmöglichkeiten	Prothesen, bewegliche Bauteile, Ersatz für übliche Spritzgusswerkstoffe
Polyamid 11	extrem flexibel, hohe Schlagzähigkeit, chemikalienbeständig	Automobilbau, Innenraumausstattung

# FABRIKEN FÜRS VOLK

Globales  
Tüfteln:  
Hightech-  
Werkstätten  
für Laien wie  
dieses Fab Lab  
im belgischen  
Leuven gibt es  
mittlerweile  
überall auf der  
Welt, an  
insgesamt 50  
verschiedenen  
Standorten.



In „Fab Labs“ können Verbraucher ihre Ideen eigenhändig in Produkte verwandeln – und eine ganz neue Art von Maschinen entwickeln.

VON NIELS BOEING

**A**m Anfang war es wohl nur eine kühne Idee: Wie wäre es, eine Einrichtung aufzubauen, in der man (fast) alles herstellen kann? Unter dem Titel „How to make (almost) anything“ gab Neil Gershenfeld, Physiker am Massachusetts Institute of Technology (MIT), 1998 erstmals einen Kurs, in dem er seine Studenten aufforderte, mithilfe von rechnergesteuerten Maschinen Gegenstände herzustellen, die einfach nur ihrer Fantasie entsprangen, aber technisch durchaus anspruchsvoll waren – sprich: auch eine Steuerelektronik enthalten sollten. Die Kurswerkstatt, die er hierfür einrichtete, nannte er „Fab Lab“, eine Abkürzung für Fabrikationslabor.

Mehr als zwölf Jahre später ist aus der Idee ein globales Netzwerk mit 50 Hightech-Werkstätten geworden: Ob in den USA, in Indien, Südafrika, den Niederlanden oder Ghana – überall wird an Gershenfelds Vision einer Produktion von morgen gearbeitet. In Deutschland gibt es zwar erst ein Fab Lab an der RWTH Aachen, doch weitere Städte wollen schon bald folgen. Finanziert werden sie vor allem von Stiftungen oder aus öffentlichen Fördertöpfen. In den Niederlanden, die mit fünf Fab Labs die Trendsetter in Europa sind, kommt das Geld teilweise von der EU, teilweise aus der Wirtschaftsförderung der Provinzen.

Gemeinsam ist den Hightech-Werkstätten eine Grundausstattung aus Laserschneidern, Platinenfräsen, 3D-Druckern und

anderen Geräten, die sich alle über Rechner steuern lassen. Die Entwürfe von Bauteilen werden zunächst am PC als zwei- oder dreidimensionale Datenmodelle konstruiert. In die Maschinen eingespeist, folgt der Arbeitskopf nun den Datenpunkten entlang der Raumachsen. Während etwa der Laserschneider Formen in Holz- oder Plexiglasplatten ritzt, schichten 3D-Drucker ganz langsam dreidimensionale Objekte aus Kunststoff auf. In gut finanzierten Fab Labs wie dem Aachener stehen dafür Industriegeräte zur Verfügung, etwa Modelle der Firma Stratasys. Die meisten Bastler in den Labs werkeln jedoch mit selbst zusammengeschraubten Maschinen aus Bausätzen wie dem „Maker-Bot“ oder dem „Mendel“ des britischen RepRap-Projekts.

**Vieles, was auf diese Weise** in einem Fab Lab entsteht, ist auf den ersten Blick verspieltes, praktisch kaum nutzbares Zeug vom schlichten Kleiderhaken bis hin zum Kunsthandwerk, wie es auf Flohmärkten zu finden ist. Doch das ficht Gershenfeld nicht an – ihm geht es um mehr. Fab Labs waren von Anfang an immer auch als Ort für eine technische Weiterbildung gedacht, die öffentliche Einrichtungen nicht bieten. Darin will er aus unbedarften Verbrauchern erfinderische Produzenten machen. Begleitet von mitunter ehrenamtlichen Lab-Managern, sollen Gemeinschaften von Nutzern lernen, Dinge für ihre eigenen Bedürfnisse zu produzieren, aber auch ganz neue Ideen zu entwickeln. Während etwa das Fab Lab in Ghana aus den Resten der

europäischen Solarzellfertigung brauchbare Solarmodule für Dörfer in der afrikanischen Savanne baut, hat das Fab Lab in Barcelona den Prototyp eines variablen Solarhauses aus Holz geschaffen. Eine selbst entwickelte Software passt die Konstruktion des Hauses an den gewünschten Standort und den dortigen Einfallswinkel des Sonnenlichts an, bevor es tatsächlich errichtet wird.

**Vor allem sind Fab Labs** für Gershenfeld aber Orte, an denen neu über Materialien und Maschinen nachgedacht wird. In seinem 2005 erschienenen Buch „FAB“ hat er die Auswahl an Maschinen systematisiert, die in einem Fab Lab vorhanden sein soll: Für die „Subtraktion“ gibt es Werkzeugmaschinen, die etwas wegnehmen, etwa Fräsen und Schneidegeräte, für die „Addition“ solche, die etwas hinzufügen, etwa 3D-Drucker, und für die Informationsbearbeitung natürlich Computer oder Recheneinheiten. Dieses Maschinenensemble soll nun so weiterentwickelt werden, dass es eines Tages in der Lage ist, eine Kopie seiner selbst zu bauen.

Gershenfelds Team und andere Forschungsgruppen haben in den vergangenen Jahren erste Schritte in diese Richtung gemacht: Inzwischen gibt es Selbstbausätze für Fräsen, Plotter, Pipettier-Roboter und 3D-Drucker, die in den Fab Labs rund um die Welt nicht nur mit Begeisterung zusammengesetzt, sondern auch weiter verbessert werden.

Doch auch diese Selbstbaumaschinen sind nicht als l'art pour l'art gedacht. Sie sind nur Vorstufen einer komplett „digitalen Fabrikation“, in der Objekte und auch Maschinen nach dem Lego-Prinzip aus zahlreichen intelligenten Modulen zusammen-

gefügt werden. Erste Prototypen hierfür haben Hod Lipson von der amerikanischen Cornell University und Jonathan Ward aus Gershenfelds Forschungsteam geschaffen. Dabei handelt es sich um mit 3D-Druckern angefertigte Kunststoffblöcke, die auch elektronische Bauteile und Batterien enthalten. Steckt man sie zusammen, beginnen sie zu leuchten oder bewegen an Gelenkstücken, von einfachen Aktoren angetrieben, Teile ihrer selbst.

Langfristig, so Gershenfelds Hoffnung, werden in den Fab Labs unterschiedliche Konzepte zu einer ganz neuen Art der Produktion zusammenfließen: additive Technologien, eine modulare Bauweise à la Lego, Programmierbarkeit, elektronische Schaltungen und Motoren. Entstehen könnten dabei Tausende von „Dingen, die denken“ – so der Titel eines älteren Buchs von Gershenfeld –, die sich dank ihres modularen Aufbaus im Prinzip nachhaltiger produzieren und nutzen lassen.

## Links

### Liste aller Fab Labs weltweit

■ <http://fab.cba.mit.edu/about/labs>

### Fab Lab in Aachen

■ <http://fablab.rwth-aachen.de>

### Niederländischer Fab-Lab-Verband

■ [www.fablab.nl](http://www.fablab.nl)

## „EINE ART MIKRO-LEGO“

Der Physiker Neil Gershenfeld über neuartige digitale Materialien, Open-Source-Maschinen und das Ende des Müllproblems.

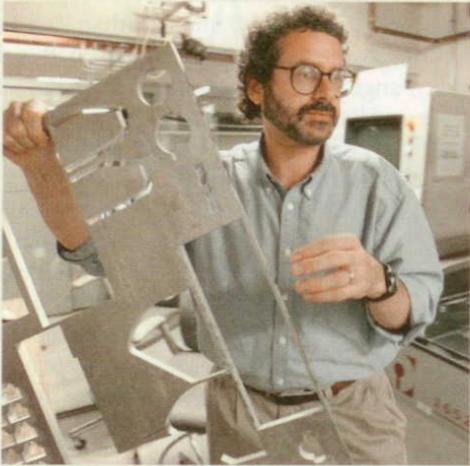
VON NIELS BOEING

**TR:** Herr Gershenfeld, viele Fachleute halten Fab Labs derzeit nur für eine nette technische Graswurzelbewegung, mehr nicht. Was würden Sie ihnen entgegnen?

**GERSHENFELD:** Ich würde gar nicht erst versuchen, diese Leute zu überzeugen. Die Zahl der Fab Labs verdoppelt sich inzwischen im Jahresrhythmus, und viele Menschen stecken eine Menge Energie in sie. Davon abgesehen gibt es eine Parallele zur Entwicklung des PCs. Er wurde von der Computerindustrie anfänglich für ein Spielzeug gehalten, bis er fast ihr Geschäftsmodell zerstört hätte. Heute ist jedem klar, dass PCs vollwertige Rechner mit ernst zu nehmenden Auswirkungen sind. Wenn einige Leute sagen, die Maschinen in einem Fab Lab seien nur Prototyping-Spielzeuge, wieder-

holen sie die Geschichte PC versus Großrechner. Diesmal geht es nicht darum, Bits in einem Rechner zu programmieren, sondern Atome außerhalb des Computers.

Sie nennen die Produktionsweise, die in den Fab Labs gepflegt wird, auch „digitale Fertigung“, weil computergesteuerte Maschinen eine wichtige Rolle spielen. Braucht man dafür eine neue Herangehensweise ans Konstruieren? Mit der digitalen Fertigung kann man zum einen integrierte funktionale Systeme herstellen, die zwei- und dreidimensionale Strukturen enthalten, logische Schaltkreise, Sensoren, Motoren, Kommunikationsgeräte und ähnliches. Zum anderen lassen sich Daten in Objekte verwandeln und umge-



Netzwerk-Gründer: Neil Gershenfeld ist Informatiker und Physiker. Er leitet am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge das Center for Bits and Atoms und baute dort 1998 das erste Fab Lab auf.

kehrt. Damit kann man Projekte starten, an denen räumlich verteilt gearbeitet wird – so wie Open-Source-Gruppen über die Welt verteilt gemeinsam Software programmieren.

#### Was sollten solche Gruppen produzieren?

Es geht letztlich auch darum, Programmcode in Materialien einzubauen. So wie die Molekularbiologie einerseits auf Programmen – dem genetischen Code – und andererseits auf Molekülen basiert, wollen wir Grundbausteine entwickeln, die sich aufgrund ihrer Form zu komplexeren Gegenständen zusammenfügen, eine Art „Mikro-Lego“. Ich nenne sie lieber „digitale Materialien“.

#### Und wozu soll das gut sein?

Im Moment sind wir noch in einer Phase, in der wir in erster Linie Rechner an Werkzeuge anschließen. Im nächsten Schritt kommen wir zu sich selbst reproduzierenden Maschinen, dann zu Maschinen, die digitale Materialien zusammenbauen können, und schließlich zu sich selbst reproduzierenden Materialien.

#### Das klingt sehr futuristisch. Wie weit sind wir noch von Maschinen weg, die selbst Maschinen herstellen können?

Die jetzigen Maschinen, die Maschinen machen können, benötigen noch Standardbauteile, die man kaufen muss. Wir könnten im Prinzip Motoren und Kugellager schon selbst im Fab Lab herstellen, aber das lohnt sich nicht. Das wird erst interessant, wenn wir komplette funktionale Systeme einschließlich Motoren herstellen. Allmählich entsteht so eine neue Maschinen-Infrastruktur. Da es sich um Open-Source-Maschinen handelt, kann man entweder den Bauplan herunterladen, einen Bausatz kaufen oder eine fertig zusammengesetzte Version von einem kommerziellen Anbieter beziehen.

#### Wie wichtig ist das Recyceln von Materialien?

Wenn wir den Übergang zu digitalen, zusammensetzbaren Materialien geschafft haben, kann man sie genauso gut auch wieder auseinandernehmen. Recycling wird also integraler

Bestandteil der Produktion sein. Das ist besser, als heute viel Energie in das Recycling existierender Waren zu stecken.

#### Wie wird die Produktion in zehn Jahren aussehen?

2020 wird es noch große Industriemaschinen geben, aber wir haben dann den Übergang zu digitalen Materialien schon hinter uns. Damit haben wir kein Müllproblem mehr: Technische Produkte lassen sich bis in die grundlegenden Bestandteile zerlegen und auf diese Weise recyceln. Außerdem werden wir bereits mit den neuen Organisationsformen für die Produktion und mit den verteilten Geschäftsplattformen leben. Solche Übergänge verlaufen meist exponentiell: Man erkennt eine Veränderung lange nicht, und dann geht sie plötzlich explosionsartig vor sich, wirkt wie eine Revolution. Tatsächlich findet die Revolution aber schon heute statt.

#### Wie wird sich diese Entwicklung auf die derzeitige Industrieproduktion auswirken?

Nehmen wir die Software-Entwicklung als Beispiel. Anfangs war sie proprietär – wer sie nutzen wollte, musste den Entwickler dafür bezahlen. Die Open-Source-Bewegung führte dann zu einer kurzen euphorischen Welle nach dem Motto „Yippie, alles gratis“. Inzwischen hat sich daraus ein Ökosystem von Softwaremärkten entwickelt: Manche Programme sind kostenlos, andere haben einen kostenpflichtigen

## »DIE REVOLUTION IN DER PRODUKTION FINDET SCHON STATT.«

Mehrwert. Ähnlich lief es bei der Musik: Auch hier haben wir heute ein Ökosystem aus Musiklabeln und Bands verschiedenster Größenordnung. In diesem Sinne wird es neben der Massenproduktion Fab Labs geben, die Märkte eröffnen, die es vorher nicht gab. Existierende Geschäftsmodelle werden nicht einfach eliminiert, aber viele der interessantesten Produkte werden für diese neuen Märkte hergestellt werden.

#### Werden etablierte Firmen dagegen Widerstand leisten?

Auch hier ist die Musikindustrie ein gutes Beispiel. Sie leistete zwar Widerstand, hat aber auf der ganzen Linie verloren. Sie hat nicht verstanden, dass Musik zu groß ist, um sie zu kontrollieren, und dass die Antwort nur lauten kann, sie besser zugänglich zu machen. Trotz Kopierschutz verbreitete sich die Musik im Netz weiter. Und heute haben wir Amazon und iTunes, die Musik ohne Kopierschutz verkaufen. Bei der digitalen Fertigung sehen wir, dass all diejenigen, die davon bedroht werden könnten, die Entwicklung noch nicht wahrnehmen. Wenn sie irgendwann feststellen, dass es sich nicht um Spielerei handelt, ist es zu spät. ❧