

ZUKUNFT

Die nächste Dimension

Bislang waren 3-D-Printer vor allem eine Sache für Profis und Konzerne. Nun steht der Durchbruch zum Massengeschäft bevor. Eine neue industrielle Revolution bahnt sich an – mit deutscher Beteiligung.

Als das „Raumschiff Enterprise“ einst durch deutsche Wohnzimmer flog, waren Replikatoren noch Science-Fiction, eine phantastische Utopie, wie wir sie vielleicht in späteren Jahrhunderten einmal erleben würden: Die Mischung aus Computer und Mini-Fabrik konnte praktisch aus dem Nichts Ersatzteile und Lebensmittel erschaffen, was schon deshalb praktisch war, weil Captain Kirk ja gar nicht so viel Proviant hätte mitnehmen können für seine Reisen durchs All. Diese Zukunft ist lange her – und wird von der Gegenwart gerade überholt.

3-D-Printer schicken sich bereits heute an, die Welt zu revolutionieren, auch wenn schon der Begriff irreführend ist, denn mit Drucken hat die neue Technik kaum noch etwas zu tun. Manche der Maschinen sind klein wie Koffer, andere groß wie Telefonzellen – je nach Objekt, das sie getreu einer dreidimensionalen Blaupause aus dem Computer erschaffen sollen. Im Inneren der Maschine baut sich das Produkt auf, aus allerfeinsten Schichten immer weiter übereinandergestapelt, als setzte man einen in hauchfeine Scheiben geschnittenen Apfel wieder zusammen.

Die Wege zum Ziel sind dabei technisch vielfältig: Bei einer Variante sprühen Düsen flüssiges Rohmaterial in immer neuen Reihen übereinander. Noch bessere Ergebnisse erzielt eine Methode, bei der Laserstrahlen auf ein feines Pulver treffen und die Kügelchen exakt an jener Stelle miteinander verschmelzen. In jedem Fall aber wächst das Objekt, Schicht um Schicht, jede nur wenige hundertstel Millimeter dünn, bis es die gewünschte Form annimmt. Das geht schon heute mit Stahl oder Plastik, mit Titan, Aluminium und vielen anderen Metallen.

Nichts muss mehr zusammengesetzt, geschraubt, verklebt, geschweißt werden. Alles kann aus einem Guss produziert wer-

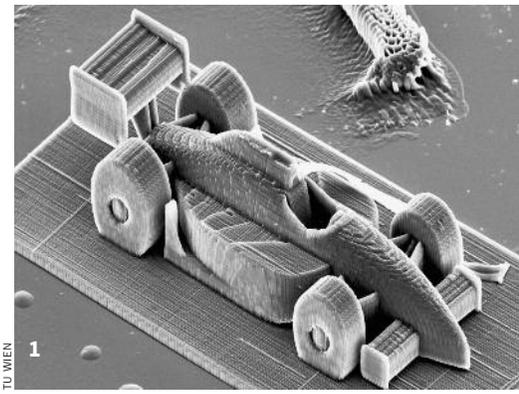
den, selbst die komplexesten Formen, mit nur einer Maschine: Hüftgelenke, Hörgeräte, Handy-Schutzhüllen, individuell angepasstes Schuhwerk oder Autos wie der „Urbee“, ein vielbeachteter Prototyp.

Ingenieure des Luft- und Raumfahrtkonzerns EADS druckten bereits ein komplettes Fahrrad aus, es fehlten nur Reifen und Kette. Britische Forscher produzierten eine wendige Drohne mit Heckantrieb. Gedruckte Bauteile kommen in der Formel 1 zum Einsatz und bei der Nasa. Dentallabore stellen Kronen mit 3-D-Printern her. Mediziner experimentieren mit künstlichem Herzgewebe, Trickfilmer drucken Animationsfiguren, Automobilzulieferer Ersatzteile.

Selbst am Druck elektronischer Bauteile wird gearbeitet: Der US-Konzern Xerox etwa hat eine Silbertinte entwickelt, die als elektrischer Leiter dient und direkt auf Plastik oder andere Materialien gedruckt werden kann. Schon jetzt lassen sich auf diese Weise einfache Schaltkreise in gedruckte Objekte integrieren.

So gewaltig die globalen Auswirkungen der neuen Technologie sein können, so überraschend ist andererseits, dass bislang nur rund zwei Dutzend Firmen den Markt beherrschen: Neben den US-Riesen 3-D-Systems und Stratasys sind immerhin rund zehn Unternehmen aus Deutschland als Anbieter unterwegs, darunter Marktführer in ihren jeweiligen Segmenten wie Eos aus Krailing und Concept Laser aus Lichtenfels.

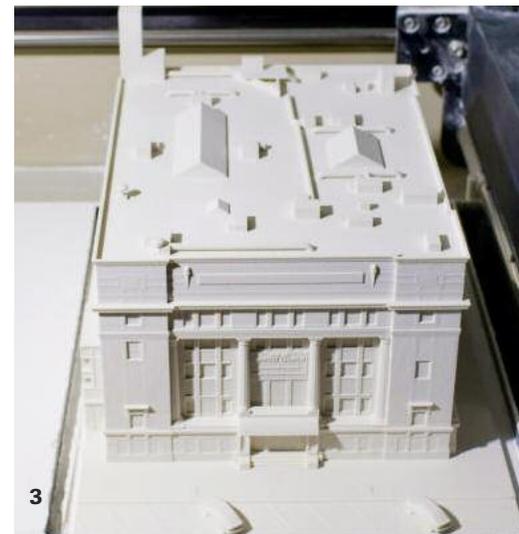
Einige der deutschen Printer-Profis wachsen in einem Tempo, dass manche Fachleute schon davon träumen, hier könnten in der noch jungen Ära des digitalen Industriezeitalters endlich neue Innovationstreiber „made in Germany“ heranwachsen. Insbesondere bei der Verarbeitung von Metallen in der dritten Druck-Dimension gelten deutsche Firmen als führend.



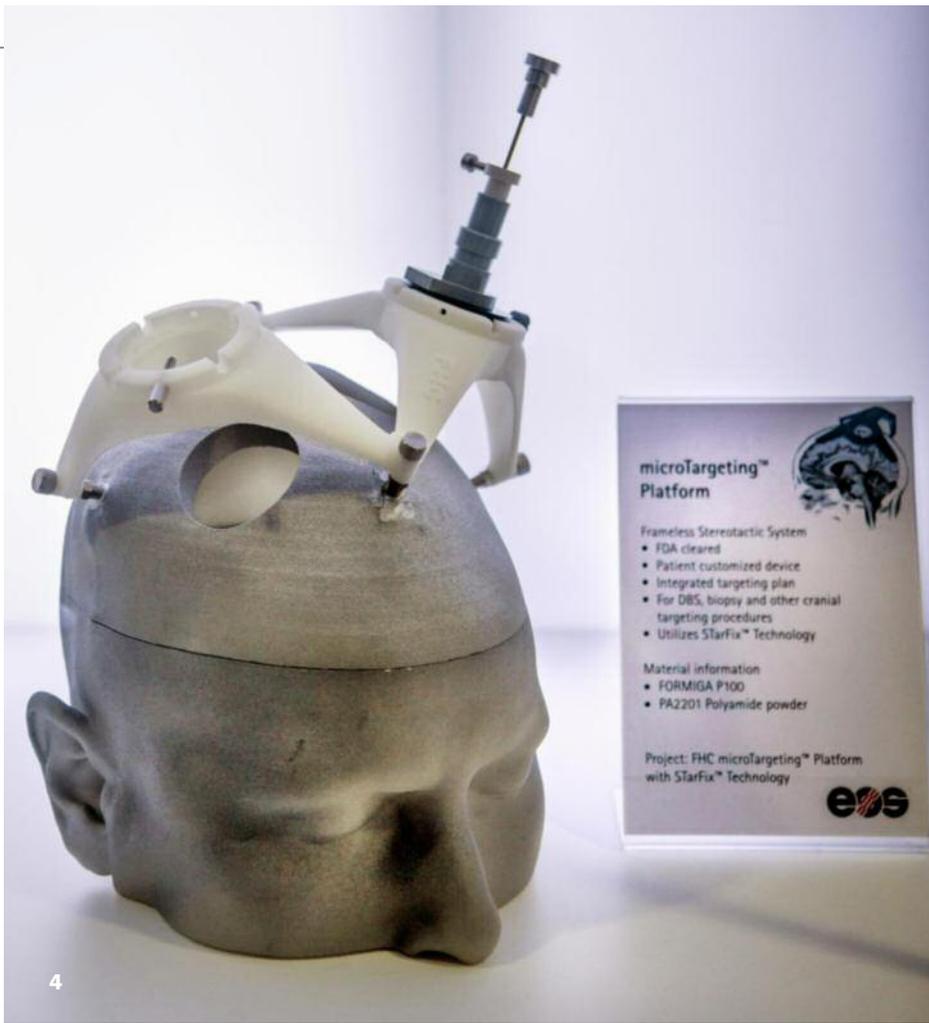
TU WIEN 1



PETER SCHINZLER / DER SPIEGEL 2



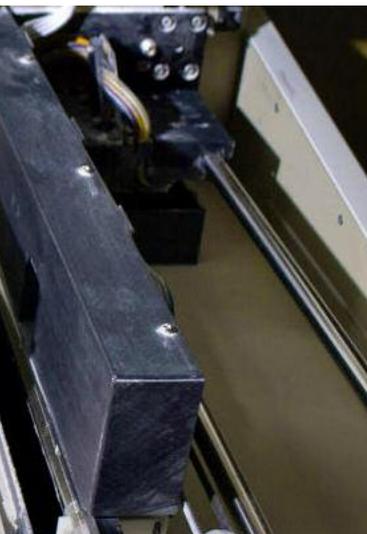
3



PETER SCHINZLER / DER SPIEGEL

Dreidimensionale Ausdrücke

- [1] Nano-3-D-Druck eines Formel-1-Wagens, TU Wien
- [2] Konzeptstudie Autositz, M.Kandler/Fraunhofer IPA; Einspritzdüse, Morris Technologies
- [3] Ausgedrucktes Architekturmodell, LGM
- [4] Chirurgisches Präzisionsinstrument, FHC Inc.
- [5] Prototyp einer Beinprothese, Bespoke Innovations



KEVIN MOLONEY / NEW YORK TIMES / REDUX / LAIF



PETER DASILVA / NEW YORK TIMES / REDUX / LAIF

Die Möglichkeiten sind theoretisch unbegrenzt, prinzipiell kann fast jedes Objekt gedruckt werden, solange es exakte digitale Daten davon gibt. Die Printer kommen vor allem in der Industrie zum Einsatz, mit riesigen Maschinen, die eine Million Euro und mehr kosten können. Aber es gibt auch eine wachsende Amateurszene, Bastler, die sich mit selbstgebaute Geräten für 500 Euro im heimischen Keller Spielzeugfiguren, Ersatzteile für die Kaffeemaschine oder gleich individuell gestaltete Kaffeetassen drucken.

Grenzen setzen nur noch die Auswahl der Materialien und die „Bauräume“ – also die Größe der einzelnen Ausdrücke. Und vor allem der Faktor Zeit: Noch ist dreidimensionales Drucken eine langwierige Angelegenheit.

Die Technologie steckt erst in den Anfängen, aber der Vergleich zur entstehenden PC-Industrie in den siebziger Jahren liegt nahe: Auch damals waren die ersten Geräte klobig und die Bedienungsanleitungen kompliziert. Doch die Entwicklungssprünge waren riesig und kamen schnell.

Eine Expertenkommission des US-Präsidenten sieht bereits einen „Megatrend der Zukunft“: Die amerikanische Regierung fördert die neue Technologie mit Hunderten Millionen Dollar. Viele Industriekonzerne von Boeing über Siemens bis General Electric (GE), Samsung, Canon und Daimler experimentieren mit den neuen Produktionsmethoden.

Ganz vorn mit dabei ist die deutsche Firma Eos, die in einem Industriegebiet der 8000-Einwohner-Gemeinde Krailling bei München sitzt. Im Foyer der Zentrale steht eine lebensgroße Statue der Siegesgöttin – eine exakte Kopie des antiken Originals, samt Rissen und Verwitterungserscheinungen. Sie ist in einem Eos-Drucker entstanden, nach einem Scan des Museumsstücks.

In einer Vitrine im Eingangsbereich ist zudem eine gedruckte Violine ausgestellt. Rund einen Tag dauerte ihre maschinelle Geburt, anschließend mussten nur Kleinteile und Saiten montiert werden, schon war sie bespielbar. Musikexperten bemerken den Unterschied. Laien hören indes nur: eine Geige.

Das bayerische Hightech-Unternehmen hat sich auf industrielle 3-D-Drucker spezialisiert: große Maschinen, die an überdimensionale Kühl-Gefrier-Kombinationen oder Industriebacköfen erinnern und je nach Größe, Ausstattung und Leistungsfähigkeit zwischen 150 000 und mehr als einer Million Euro kosten.

Das von Eos genutzte dreidimensionale Druckverfahren nennt sich „Laser-Sintern“. Unternehmen nutzen es schon seit 25 Jahren, vor allem, um schnell und günstig Prototypen und Designstudien zu entwickeln. Damals kam auch Eos-Chef Hans

Langer erstmals mit der Technologie in Berührung. Der Physiker, der über Lasertechnik promovierte, gründete 1989 Eos, seine erste Maschine baute er für den Autohersteller BMW, der damit Designstudien für neue Automobile aus Kunstharz produzierte.

Andere Autobauer bis hin zur Formel 1 nutzen inzwischen ebenfalls die Technik. „Sie können davon ausgehen, dass alle Rennställe mit Bauteilen aus unseren Druckern arbeiten“, sagt Langer.

Heute ist Eos in seinem Bereich Weltmarktführer. In den vergangenen drei Jahren verdoppelte sich der Umsatz der Gruppe auf zuletzt 105 Millionen Euro. Noch ist der Gesamtmarkt mit einem Umsatzvolumen von 1,3 Milliarden Dollar eher überschaubar, doch wenn der Trend anhält, wird sich das schnell vervielfachen. Für 2015 rechnet der Branchen-Fachdienst Wohlers mit einer Verdreifachung der Summe, 2019 sollen 6,5 Milliarden Dollar erreicht werden.

„Ich glaube, das wird von großer Bedeutung werden, ganz sicher“, sagt der Chef des Weltkonzerns GE, Jeffrey Immelt. Der New Yorker Bürgermeister Michael Bloomberg, selbst einst mit neuen Technologien reich geworden, glaubt „an ein nahezu unbegrenztes Potential, das die gesamte Fabrikation revolutionieren könnte“. Vorausgesetzt, die 3-D-Printing-Technologie entwickelt sich weiter so rasant, kann sie aus mehreren Gründen tatsächlich revolutionäre Kraft entfalten:

- ▶ Die Kostenersparnisse durch erheblich weniger Produktionsschritte, weniger Werkzeugeinsatz und geringere Materialkosten sind enorm, da es keinen Verschnitt mehr gibt. Manche Drucker kommen mit nur zehn Prozent der Kunststoff- oder Metallmenge aus, die bei herkömmlichen Methoden wie Fräsen benötigt werden.
- ▶ Skaleneffekte, also Kosteneinsparungen durch Massenproduktion, sind für Unternehmen nicht mehr zwingend notwendig. Auch Kleinserien können profitabel sein.
- ▶ Mehr innovative Produkte könnten auf den Markt kommen, weil neue Ideen billig ausprobiert werden können.
- ▶ Bei Änderungen am Design eines Produkts muss nicht die ganze Herstellungsstraße neu eingerichtet werden.



Eos-Chef Langer, Siegesgöttin-Kopie: „Nachhaltigkeit ist ein Kerntreiber“

zeigt Langer etwa die Studie für ein Scharnier, das 60 Prozent weniger wiegen soll als die bisher eingesetzten. Weniger Last bedeutet weniger Treibstoffverbrauch. „Nachhaltigkeit ist ein Kerntreiber für unsere Industrie“, sagt Langer, der bei der 3-D-Konstruktion der neuen Bauteile am Rechner oft auf Vorbilder aus der Natur setzt: „So ein Vogelknochen ist unglaublich leicht und unglaublich stabil.“

Weitaus diffiziler ist noch eine komplette, in einem Vorgang gedruckte Einspritzdüse für Flugzeugturbinen, wie sie gerade getestet wird. Mit ihr könnten die Jets künftig bis zu zwei Prozent effizienter fliegen und damit über den Lebenszyklus eines Flugzeugs hinweg Millionen von Euro sparen, rechnet Langer vor. Bislang werden gedruckte Teile allerdings nur im Inneren der Kabinen verbaut.

Auch bei den Werkstoffen sind die Fortschritte groß. Sogar biologisches Material kann inzwischen gedruckt werden. Naturwissenschaftler arbeiten daran, menschliche Zellen in 3-D-Printern zusammenzusetzen. Als Bestandteile dienen vom Körper verwendete Rohstoffe wie Zucker. Biologen ist es tatsächlich gelungen, Adern und funktionierendes Herzgewebe zu drucken. Irgend-

wann könnte die Produktion kompletter Organe möglich werden.

Pharmaforscher experimentieren überdies damit, Medikamente zu drucken, die individuell zugeschnitten sind: Der Computer gibt das Rezept vor, der Printer setzt die Basisstoffe dann entsprechend den Anforderungen eines Patienten zu Pillen zusammen. Für einfache Rezepturen wie das Schmerzmittel Ibuprofen funktioniert das bereits.

In der Medizin werden die neuen Möglichkeiten zur preisgünstigen Maßanfertigung längst genutzt. Zahnersatz lässt sich erheblich schneller und leichter drucken als per Hand vom Zahntechniker schleifen. Prothesen können aus dem Wunschmaterial der Patienten hergestellt werden. Chirurgen haben für eine Patientin einen künstlichen Ersatz-Unterkiefer aus Titan gedruckt.

Ähnliche Fortschritte werden auch beim Drucken von beweglichen Teilen gemacht. Wissenschaftler der US-Universität MIT haben bereits eine funktionierende Wanduhr aus einem Guss her-

Produktzyklen können auf diese Weise erheblich verkürzt, Verbesserungen schneller eingeführt werden.

Eine vielversprechende Zukunft werden 3-D-Drucker etwa als Ersatzteilbaumaschine haben. Das funktioniert mit den teureren Geräten schon heute. Ein BMW-Manager etwa fand das Original-Ersatzteil für sein altes Motorrad nicht – er ließ es deshalb kurzerhand am Rechner nachbauen und dann mit einem Eos-Gerät einfach nachdrucken.

Ein großer Vorteil der neuen Technologie besteht für die Industrie zudem darin, dass gedruckte Teile durch Hohlräume und interne Verstrebungen sowohl stabiler als auch leichter sein können – eine sonst schwer erreichbare Kombination.

„Ein traditionell hergestelltes künstliches Hüftgelenk ist deutlich schwerer als ein ausgedrucktes, das wiegt nur 200 Gramm“, sagt Eos-Boss Langer.

Das macht den 3-D-Druck auch für Flugzeughersteller wie den Airbus-Mutterkonzern EADS so interessant. Stolz

gestellt. Der Forschungschef von General Electric, Mark Little, ist sicher: „Wir werden eines Tages so weit sein, einen Motor zu drucken.“

Die 3-D-Technik gilt dabei sogar als Chance für die westliche Welt, zumindest gewisse Bereiche der Industriefertigung wieder aus Asien zurückzuholen nach Europa oder in die USA. Die Mini-Fabriken machen die Produktion günstiger, man braucht weniger Material und Personal. Ein oder zwei geschulte Arbeiter reichen, um einen Drucker der Profi-Kategorie zu steuern.

Zudem sind für Unternehmensgründer die finanziellen Hürden für einen Markteintritt künftig weitaus geringer: Es müssen nicht mehr gleich ganze Produktionsstraßen gebaut werden. Stattdessen lassen sich Innovationen auch erst in kleinerem Umfang testen – um im Erfolgsfall die Produktion später hochzufahren.

Trotzdem wird die neue Technologie für jeden Hersteller künftig nicht nur eine große Chance, sondern eine ebenso enorme Bedrohung sein. Denn nicht nur für Erfinder, auch für Raubkopierer wird es leichter sein, in den Markt zu kommen.

Was etwa bedeutet es für einen schwäbischen Maschinenbauer, wenn ein Kunde in Mexiko oder Vietnam seine Ersatzteile nicht mehr aus Stuttgart importiert, sondern sich die digitale 3-D-Vorlage besorgt und künftig selbst drucken kann? Was bedeutet es, wenn eine Computerdatei

reicht, um jedes WMF-Besteck oder jede Gucci-Brille zu kopieren? Ein US-Unternehmen hat sich bereits einen Kopierschutz-Mechanismus für den 3-D-Druck patentieren lassen. Und schon bald dürfte der Massenmarkt aufgerollt werden.

Denn neben den professionellen 3-D-Druckern gibt es längst Geräte für den Hausgebrauch. Der US-Hersteller MakerBot hat vor wenigen Monaten seinen ersten Laden in Manhattan eröffnet und verkauft dort Einsteigermodelle für rund 2000 Dollar. Sie verwenden als Rohstoff dasselbe Plastik, aus dem Lego-Steine bestehen. Zwar sind die etwa bierkasten-großen Geräte lange nicht so ausgereift und präzise wie die Industriemaschinen von Eos. Aber von der Schachfigur bis hin zu Schmuck kann jeder Hobbydesigner sich seine Entwürfe selbst produzieren.

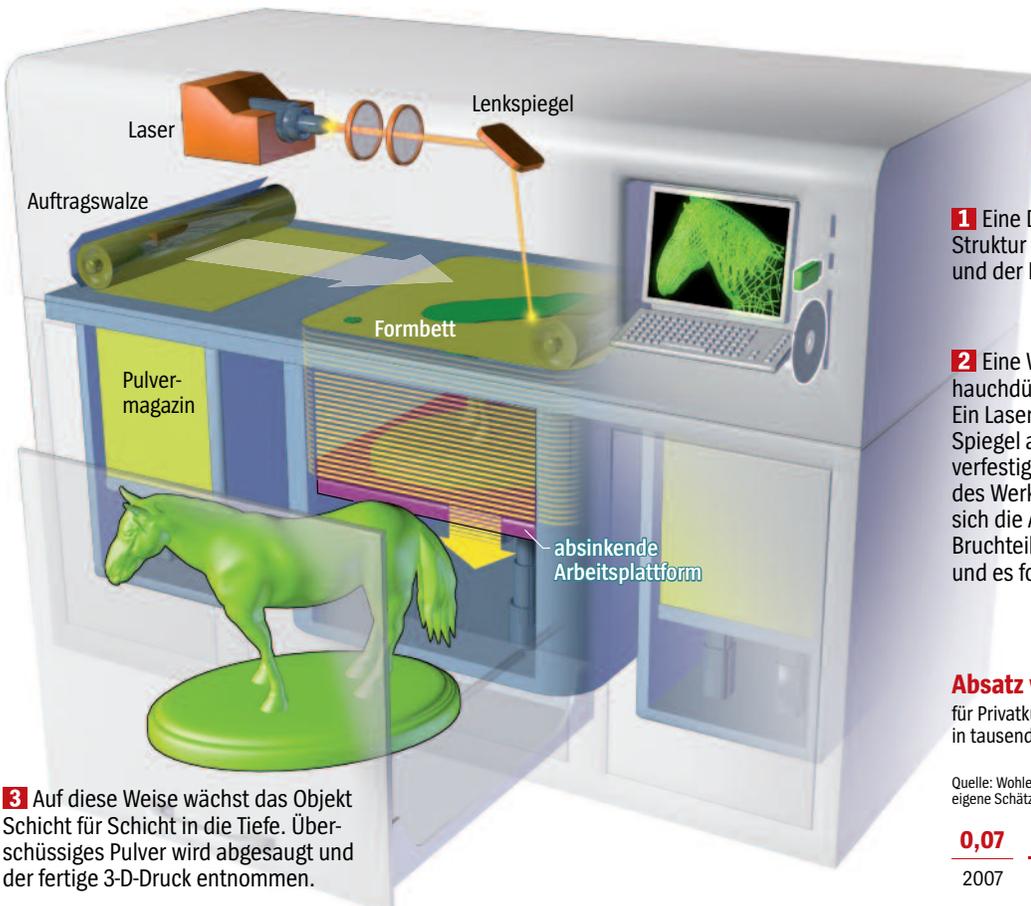
Was Fachleuten für geistiges Eigentum den Schweiß auf die Stirn treibt, lässt andere jubeln – und neue Geschäftsmodelle entstehen. „Das ist die Demokratisierung der Produktion“, sagt Peter Weijmarshausen. „Jeder kann sein Wunschprodukt selbst herstellen.“ Weijmarshausen ist Chef von Shapeways, der führenden Konsumentenfirma für 3-D-Druck, die aus einem Projekt des niederländischen Konzerns Philips entstand. Über die Website der Firma können Kunden ihre eigenen Designs hochladen oder aus Vorlagen auswählen, die dann von der Firma produziert werden.

1,5 Millionen Teile hat Shapeways dieses Jahr produziert: selbstdesignigten Schmuck, Schutzhüllen für iPhones, Lampenschirme, Vasen. Nächstes Jahr sollen es schon bis zu sechs oder sieben Millionen Stück sein aus rund 30 möglichen Werkstoffen. Shapeways hat dazu vor wenigen Wochen im New Yorker Stadtbezirk Queens eine weitere Produktionshalle eröffnet. Dort stehen in langen Reihen unterschiedlichste Varianten von 3-D-Druckern, viele davon sind „made in Germany“ und kommen von Eos aus Krailling.

Der nächste große Schritt, so hofft Weijmarshausen, wird Kleidung aus dem Drucker sein, genau zugeschnitten auf den jeweiligen Körper. „Und natürlich Schuhe, maßgefertigt für jedes Paar Füße.“ Trotzdem werden Konsumprodukte wohl zunächst eher ein Nebenschauplatz sein, verglichen mit den möglichen industriellen Anwendungen.

Kalifornische Forscher testen, Hausteile aus Beton zu drucken. Und die US-Weltraumbehörde Nasa nähert sich tatsächlich immer mehr den Utopien der U.S.S. „Enterprise“ von Captain Kirk: Die Raumfahrtbehörde „druckt“ schon jetzt Triebwerksteile für ihr neues Trägerraketensystem SLS. Auch die Nasa vertraut dabei auf Laserdrucktechnik aus Bayern. Sie nutzt Systeme der Firma Concept Laser aus Lichtenfels.

MARCEL ROSENBACH, THOMAS SCHULZ



Plastische Prints

3-D-Drucke durch Laser-Sintern

1 Eine Datei mit der dreidimensionalen Struktur des Werkstücks wird eingelesen und der Druckauftrag gestartet.

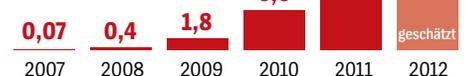
2 Eine Walze trägt pulverförmigen Werkstoff in hauchdünnen Schichten auf ein Formbett auf. Ein Laserstrahl wird über einen beweglichen Spiegel auf die jeweilige Oberfläche gelenkt. Er verfestigt (sintert) das Material im Formbereich des Werkstücks. Nach jedem Arbeitsgang senkt sich die Arbeitsplattform um den Bruchteil eines Millimeters ab, und es folgt der nächste Auftrag.

3 Auf diese Weise wächst das Objekt Schicht für Schicht in die Tiefe. Überschüssiges Pulver wird abgesaugt und der fertige 3-D-Druck entnommen.

Absatz von 3-D-Druckern

für Privatkunden weltweit, in tausend

Quelle: Wohlers Associates, eigene Schätzung



DER SPIEGEL