



monkeybusinessimages / Getty Images

## Schicht für Schicht gedruckt

Die additive Fertigung basiert auf zwei unterschiedlichen Verfahren.

Michael Vogel

**E**in 3D-Drucker setzt der Fantasie kaum Grenzen: Von der Trillerpfeife bis zum Luftkissengleiter für den Physikunterricht lässt sich fast alles herstellen. Seit etwa zehn Jahren sind die Geräte auch für den privaten Gebrauch erschwinglich: Sie kosten heute wenige hundert Euro, aber wer es leistungsfähiger mag, zahlt schnell auch einige Tausend. Die Idee hinter der Technologie ist vierzig Jahre alt; die ersten 3D-Drucker waren Ende der 1980er-Jahre kommerziell verfügbar. Doch erst im neuen Jahrtausend stieg die Bedeutung additiver Fertigungsverfahren – so die offizielle Bezeichnung des 3D-Drucks. Zunächst dominierten professionelle Anwendungen, auch in der Wissenschaft.<sup>1)</sup>

Beim 3D-Druck entsteht ein Objekt aus einem Stapel dünner Schichten, die nach und nach aufgetragen wer-

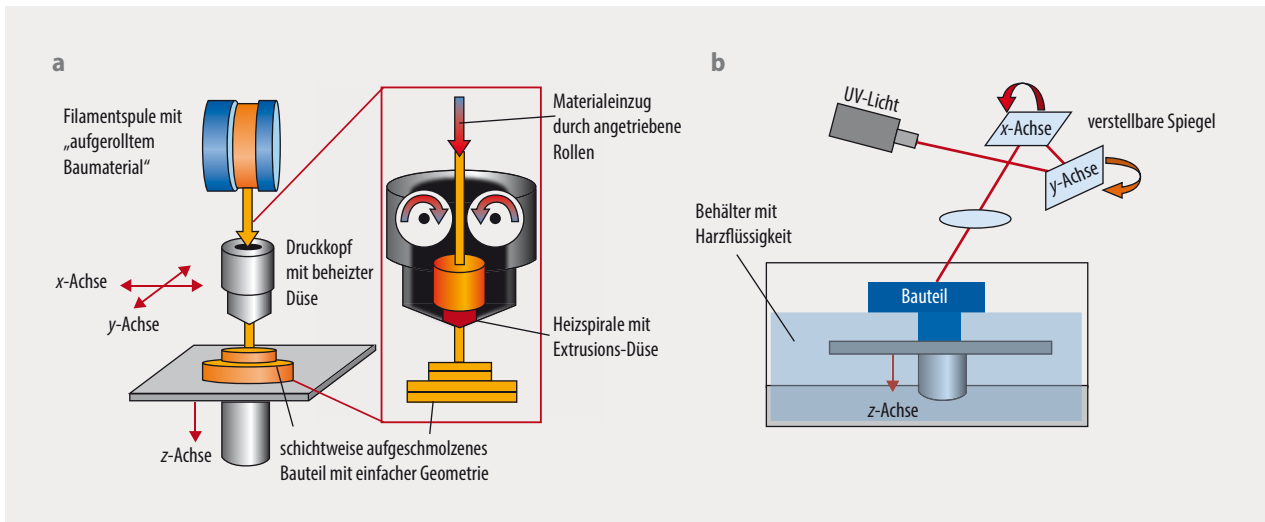
den. Daten aus dem Computer-Aided Design (CAD) bestimmen die Form. Dieser Vorgang braucht weniger Ausgangsmaterial als etwa das Fräsen, weil kein Material abgetragen wird. Außerdem erfordert die additive Fertigung keine Werkzeuge oder Formen und läuft weitgehend automatisiert ab. Das schichtweise Auftragen ermöglicht besondere Geometrien, beispielsweise Strukturen im Innern eines Werkstücks oder Freiformflächen. Inzwischen arbeiten u. a. Luft- und Raumfahrtindustrie, Medizintechnik sowie Maschinen- und Anlagenbau mit 3D-Druckern. Sie kommen für Prototypen genauso zum Einsatz wie in der Serienfertigung oder für Ersatzteile. Professionelle Anwendungen nutzen als Ausgangsmaterial neben Kunststoff heute auch Keramik, Metalle, Formsand oder Papier.

Mit der Fused Filament Fabrication und der Stereolithografie stehen zwei grundsätzlich verschiedene Metho-

den zur Verfügung. Alle 3D-Drucker besitzen eine höhenverstellbare Arbeitsfläche, das Druckbett. Bei der Fused Filament Fabrication lässt sich der Druckkopf parallel dazu in beiden Richtungen verschieben (**Abb. 1a**). Im Inneren des Druckkopfs pressen zwei Walzen einen Strang aus thermoplastischem Kunststoff zusammen und führen ihn einer Heizkammer zu. Über eine Düse tritt der Kunststoff als zähflüssiger Faden aus. Während sich der Druckkopf entlang der berechneten Querschnitte bewegt, trifft der Faden auf das Druckbett und kühlt ab. Ist eine Schicht fertig, wird das Druckbett für die nächste etwas abgesenkt. Typische Schichtdicken im Hausgebrauch liegen zwischen 0,1 und 0,4 mm.

Die thermoplastischen Kunststoffe sind als Rollenware im Handel erhältlich. Das viel genutzte Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), aus dem auch Lego-Steine und Schutzhelme

1) Physik Journal, Juli 2018, S. 26 sowie August/September 2016, S. 24 und S. 85



**Abb. 1** Bei der Fused Filament Fabrication (a) wächst das Objekt durch das Auftragen dünner Schichten aus thermoplastischem Kunststoff. Für die Stereolithografie (b) härtet UV-Licht flüssiges Kunstharz schichtweise aus.

bestehen, gehörte zu den ersten verfügbaren Materialien. ABS muss für den 3D-Druck auf mehr als 200 °C erwärmt werden. Auch Polyactide sind weit verbreitet. Aus diesem Polyester auf Basis pflanzlicher Stärke bestehen zum Beispiel medizinische Implantate. Die Verarbeitungstemperatur liegt etwas niedriger als bei ABS, sodass kein Heizen des Druckbetts nötig ist. Während ABS sehr schlagfest ist, sind Polyactide robust, aber spröde. Beide Kunststoffe liegen in vielen Farben sowie halbdurchsichtig und nachleuchtend vor.

### Aushärten statt auftragen

Bei der Stereolithografie befindet sich dagegen UV-empfindliches, flüssiges Kunstharz in einer Wanne und bedeckt das höhenverstellbare Druckbett nur mit einer dünnen Schicht. Wo das Werkstück entstehen soll, trifft UV-Licht auf das Material und wird absorbiert. Dadurch polymerisiert das Kunstharz und härtet aus. Für die nächste Schicht wird das Druckbett in der Wanne um

eine Schichtdicke abgesenkt. Daher scheint das Werkstück aus der Flüssigkeit herauszuwachsen.

Geräte für den Hausgebrauch nutzen in der Regel UV-LEDs als Lichtquellen anstelle eines Lasers. Das Aushärten des Kunstharzes erfolgt bei einer Wellenlänge von 400 nm. Für die positionsgenaue Belichtung gibt es drei Möglichkeiten: Beim Laser-scanner führen zwei Galvanometer-spiegel den Belichtungsstrahl über die Schicht (**Abb. 1b**). Beim Digital Light Processing (DLP), das auch im Video-Beamer genutzt wird, projiziert eine matrixförmige Mikrospegeleinheit den Belichtungsstrahl direkt auf die gesamte Schicht. Genauso arbeitet die LCD-Maske, die am weitesten verbreitet ist. Sie druckt bei geringem Aufwand am schnellsten; die Kosten für die bewährte, wenig störungs-anfällige Technik sind gering.

Bei der Stereolithografie ist die Schichtdicke mit 0,02 bis 0,2 mm deutlich feiner als bei der Fused Filament Fabrication. Denn beim Abkühlen des Kunststoffs verändert sich die Form, was nur eingeschränkt zu kontrollieren ist. Lithografisch gedruckte Werkstücke besitzen glattere Übergänge zwischen den Schichten. Allerdings

sind lithografische Drucker sowohl in der Anschaffung als auch bei den Verbrauchsmaterialien teurer. Zudem fällt das druckbare Volumen fünf- bis zehnmals kleiner aus als bei der Fused Filament Fabrication.

Die Geschwindigkeit additiver Fertigungsverfahren ist im Vergleich zum Fräsen oder Spritzguss gering. Stereolithografische Geräte für den Hausgebrauch schaffen typischerweise eine Höhe von 20 bis 30 mm pro Stunde. Aber auch professionelle Anwendungen sind nicht wesentlich schneller. Geht es also primär um hohe Stückzahlen, dürften auch in der Industrie die etablierten Fertigungsverfahren weiterhin dominieren. Allerdings liefern 3D-Drucker schon heute häufig die Formen für das Spritzgussverfahren.

Der 3D-Druck hat sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelt, insbesondere die Verbreitung der Geräte hat stark zugenommen. Dabei steht die Technologie an vielen Stellen noch am Anfang, beispielsweise beim mehr- oder mischfarbigen Druck. In Zukunft dürfte ähnlich wie bei Tintenstrahl- oder Laserdruckern das Verbrauchsmaterial die Gewinne erzielen. Und vielleicht ist sogar der Traum von der vollendeten Digitalisierung realisierbar: eine Welt, in der nur noch Daten verschickt werden, aus denen jeder per additiver Fertigung Geräte, Ersatzteile und sogar Essen selbst erzeugen kann.



Moshen Chan, CC BY-NC 2.0