

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 142 (2016)  
**Heft:** 47: Drucken in der dritten Dimension

**Artikel:** Die DNA der digitalen Fertigung  
**Autor:** Herold, Johannes  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-632817>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

ZUKUNFT DES 3-D-DRUCKS UND SEINER GESCHWISTER

# Die DNA der digitalen Fertigung

Bit, Byte, Nano und Bot sind die Bausteine der Fertigung in der Zukunft. Der 3-D-Druck ist nur der Anfang einer Entwicklung, die schneller und tiefer greifend sein wird als alles bisher Dagewesene.

Text: Johannes Herold

**H**ype oder Revolution? 3-D-Druck ist beides. Dennoch vermittelt diese Technologie eine Vorstellung davon, was wir von der Zukunft der Produktionstechnik zu erwarten haben. Eine kurze, nicht repräsentative Zusammenschau von Publikationen zum Thema zeigt, dass der 3-D-Druck einen beachtlichen Stellenwert einnehmen wird. So vermutet Pete Basiliere (Gartner IT Research)<sup>1</sup>, dass innerhalb der nächsten Dekade 3-D-Drucker weit verbreitet und akzeptiert sein werden. Bereits innerhalb der nächsten fünf Jahre werden sie von den Konsumenten bereitwillig genutzt. Was zum Durchbruch noch fehlt, ist die «Killer-Anwendung», die für die private Verwendung sinnvoll wäre. Vielleicht sind es perfekt angepasste Brillen oder Schuhe? Oder andere individuelle Dinge des täglichen Bedarfs?

Noch sind 3-D-Drucker langsam, die Oberflächen grob, gute Geräte teuer und somit für eine grössere Verbreitung wenig geeignet. Wohl aber ist der Einsatz von High-End-Geräten<sup>2</sup> im medizinischen Bereich, zur Produktion von Bauteilen für die Flugzeugindustrie oder bei der Herstellung von Prototypen bereits heute wirtschaftlich sinnvoll. Im Architekturbüro erleichtern gedruckte Modelle den Variantenvergleich; komplexe digitale Entwürfe sind überhaupt nur mittels dieser Drucktechnologie mit vertretbarem Aufwand herzustellen.

## Reparatur statt Wegwerfkultur

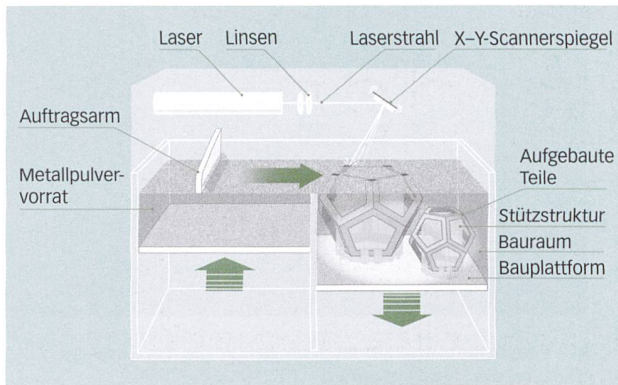
Viele Publikationen sehen eine wahre Flut von Anwendungen auf uns zukommen: Wir produzieren zum Beispiel Ersatzteile selbst, um Geräte länger nutzen zu können, besonders, wenn diese nicht mehr hergestellt werden. Dafür stellen Unternehmen druckfertige 3-D-Daten zur Verfügung. Wir mutieren von Verbrauchern zu Machern. Bereits heute stehen 3-D-Printshops oder sogenannte FabLabs (gut ausgestattete Werkstätten für die digitale Produktion) zur Verfügung. Hier können Modelle mit unterschiedlichen Materialien und Technologien hergestellt werden. 3-D-Drucker werden

möglicherweise in Bibliotheken genutzt oder in Gemeinschaftsräumen grösserer Liegenschaften aufgestellt werden. Dieser Wandel der Technologie wirft auch rechtliche Fragen auf, wie zum Beispiel: Wem gehören die Rechte an den Daten? Wer haftet für den Fall eines Unglücks, das sich aufgrund eines fehlerhaft produzierten Ersatzteils ereignet? Auch der Zugang zu Daten, um Waffen herzustellen, ist möglich – und problematisch.

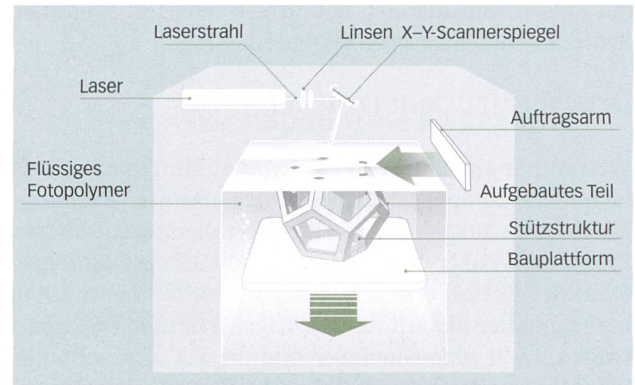
## Multiplikator Internet

Die Verbindung offener Standards mit dem Internet als Plattform für den Austausch birgt ein immenses Potenzial. Dies bedeutet keine Addition, sondern stellt einen dramatischen Multiplikator dar. Ideen können gemeinsam weiter entwickelt werden, individuelle Produkte sind möglich, die wiederum über das Internet vertrieben werden können. Die Produktionsmittel sind kein kostspieliges Unterfangen mehr und die Vertriebskanäle für alle zugänglich. Dies führte schon in der Musikindustrie oder im Verlagswesen zu tief greifenden Umbrüchen. Weitere Beispiele sind Amazon, Uber oder Airbnb. Die nächste industrielle Revolution ist unterwegs, doch im Unterscheid zu früheren Entwicklungen ist nicht eine einzige Technologie die Ursache dafür, sondern das Zusammenspiel vom Internet der Dinge, von Robotik, 3-D-Druck, Nanotechnologie und künstlicher Intelligenz.

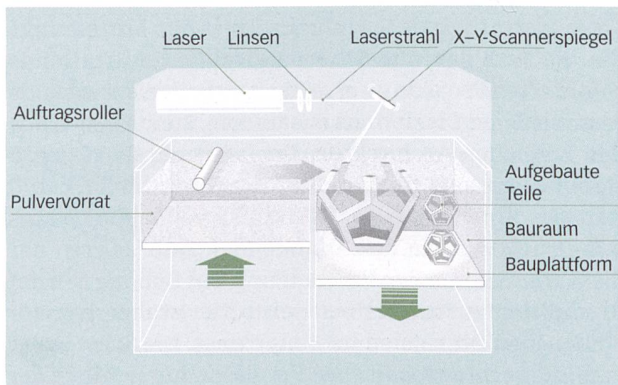
Betrachten wir einmal das Zusammenspiel von Computer, Kommunikation und Sensoren in sogenannten MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Im iPhone beispielsweise ist ein Sensor für die Beschleunigung eingebaut. Blutdruckmessgeräte oder Insulinspritzen, die am Körper getragen werden, reagieren auf die ermittelten Werte. Der nächste grosse Schritt geht in Richtung Verkleinerung, hin zu NEMS (Nano-Electro-Mechanical Systems), also Schaltern oder Robotern in Nanogrösse, zum Beispiel zur Behandlung von Krebs durch Injektion von Medikamenten direkt in die betroffenen Zellen. Weiter ermöglichen viele (neue) Materialien bisher nicht gekannte Produktionsweisen



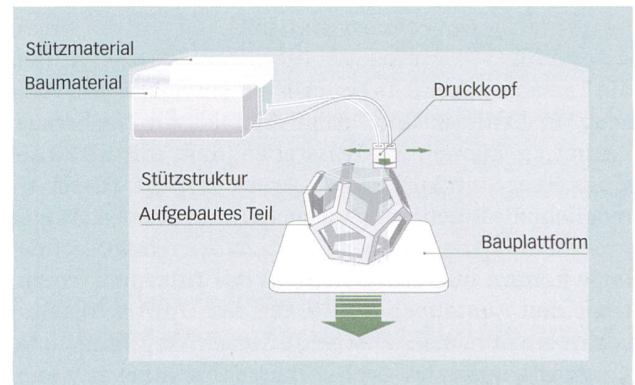
Beim **Laser Melting** brennt der Laser die Kontur der gewünschten Form in eine dünne Schicht Metallpulver. Der Aufbau erfolgt schichtweise. Es können Objekte in Standardmetallen mit hoher Dichte hergestellt werden. Eine Nachbearbeitung ist wie bei Schweissteilen möglich. Das Verfahren ist eher langsam und teuer, die Qualität der Oberflächen ist mittel.



Mit dem **Stereolithografie-Verfahren** können grosse Objekte mit hoher Oberflächengüte hergestellt werden. Ein UV-Laser härtet ein flüssiges Fotopolymer an seiner Oberfläche. Die Form wird durch das Absenken der Plattform aufgebaut. Eine grosse Palette an Materialien ermöglicht spezifische Eigenschaften. Allerdings funktioniert die Technologie nur mit Fotopolymeren, die mit der Zeit altern und somit nicht dauerhaft sind.



Auf die Bauplattform der **Laser-Sintering-Maschine** wird eine Schicht Plastikpulver aufgetragen. Durch die Energie des Lasers schmilzt das Pulver im definierten Bereich. Nach dem Absenken der Bauplattform wird die nächste Schicht aufgetragen, und der Vorgang wiederholt sich. Laser-Sintering benötigt keine Stützstrukturen. Mit diesem Verfahren werden Prototypen in Standardmaterialien für Form-, Pass- sowie Funktionstests gebaut.



Vor allem Wachsmaterialien werden beim **Material-Jetting** verwendet. Dieses Verfahren nutzt Tintenstrahldruckköpfe, um geschmolzenes Material aufzubringen, das anschliessend abkühlt und erstarrt. Die Objekte werden Schicht um Schicht aufgebaut. Es wird eine Stützstruktur benötigt, um Überhänge abzustützen. Die gedruckten Körper werden meist als Prototypen oder Modelle für den Feinguss verwendet.

auf der Basis digitaler Modelle (vgl. «Eine archäologische Ausgrabung», S. 32) Diese Werkstoffe werden in Zukunft nicht mehr in verschiedenen Geräten eingesetzt, sondern sind in einem Drucker vereint, der mit unterschiedlichen Druckverfahren umgehen kann.

Als Weiterentwicklung werden Werkstoffe auf Nanoebene so programmiert, dass sie ihre Form nach dem Ausdrucken ändern können, z.B. Möbel, die sich selbst zusammenbauen, oder Würfel, die sich selbst zusammensetzen. Bereits gedrucktes Material kann also durch Hinzufügen eines Stimulus wie Wasser oder Wärme selbstständig in eine vorher definierte neue Form oder Struktur entfaltet werden oder sich an gegebene Bedingungen anpassen. Da hier der Faktor Zeit miteinbezogen wird, wird dieses Verfahren als 4-D-Druck bezeichnet. Mit diesem neuen Verfahren wird es zum Beispiel möglich, Wasserrohre zu produzieren, die sich aufweiten oder zusammenziehen und dadurch eine Pumpbewegung erzeugen.

In seinem TED-Talk<sup>3</sup> erläutert Skylar Tibbits, Leiter des «Self-Assembly Lab» am MIT, die Entstehung von «4D Printing»: «Die Idee hinter 4-D-Druck ist, dass man vom dreidimensionalen Drucken verschiedener Materialien ausgeht – man kann also mehrere Werkstoffe verwenden – und eine neue Fähigkeit dazu nimmt, die Transformation, sodass sich die Teile direkt und selbstständig von einer Form zur anderen verändern. In unserem Labor versuchen wir, programmierbare Materialien für Bauumgebungen zu entwickeln. Wir glauben, dass es für wenige Schlüsselbereiche kurzfristig Anwendungen gibt. Aber vorstellbar wäre der Einsatz bei extremen Umgebungsbedingungen: Hier ist es schwierig, etwas zu bauen; unsere gegenwärtigen Bautechniken funktionieren nicht, es ist zu gross, zu gefährlich, zu teuer oder es gibt zu viele Einzelteile. Der Weltraum ist ein sehr gutes Beispiel hierfür. Wir versuchen, neue Szenarien für den Weltraum zu entwickeln, die komplett neu konfigurierbare und selbstformende Strukturen

aufweisen und die sich von einem hochfunktionalen System zum nächsten verwandeln.»

## Drucker drucken Drucker

Werfen wir einen kurzen Blick auf zukünftige Technologien: In Computern könnten sogenannte Graphene Silizium als Ausgangsmaterial für Transistoren ablösen. Dies würde Taktraten von bis zu 1000 GHz ermöglichen (heute 3 GHz<sup>4</sup> bei einem PC). Mit 5G werden Daten 1000-mal schneller als mit dem heutigen Standard 4G übertragen, Li-Fi plus Glasfaser erlaubt die ultraschnelle Signalübermittlung mittels Licht. 3-D-Drucker schliesslich produzieren Kleidungsstücke, Carbonfasern oder Graphene. Damit wird es auch möglich, dass sich Maschinen – ähnlich wie die Natur – selbst replizieren. Die Bausteine dafür und die Technologie dazu sind bereits vorhanden.

In ihrem Buch «iDisrupted» beschreiben John Straw und Michael Baxter fünf Einflussfaktoren für den Durchbruch des 3-D-Drucks: eine ausreichende Nachfrage, einen offenen Standard, neue Materialien, die Fähigkeit von Druckern, Drucker herzustellen, und die Tatsache, dass 3-D-Drucker ein einzigartiges Werkzeug für Erfinder sind.<sup>1</sup> Angenommen, die Nachfrage nimmt zu, können wir feststellen, dass mit REPRAP ein offener Standard im 3-D-Druck vorliegt. Dieser ermöglicht die Beteiligung vieler an Innovationen. Damit werden die Karten neu gemischt: Zu der reinen Technologie kommt nun das Potenzial des Internets hinzu. Über den Austausch entwickelt die Online-Gemeinschaft ein immenses Potenzial, dessen «Ergebnis nicht prognostizierbar ist, doch vorhersehbar innovativ sein wird».<sup>1</sup> Daraus können folgende drei Thesen abgeleitet werden:

- Ideen basieren auf anderen Ideen, der Schlüssel zur Innovation liegt in der Kooperation (Natur, Evolution, menschliche Zellen).
- Das Internet ist ein Multiplikator für Ideen (Brainstorming, wisdom of crowds) und Ressourcen (Crowdfunding, Wikipedia).
- Wenn Technologien zusammenfliessen, kann dies zu einer erheblichen Beschleunigung von Innovationen und massenhaften Anwendungen führen, die vorher nicht möglich oder denkbar erschienen. So entwickelte sich Apple innerhalb von zehn Jahren von einer beinahe bankrotten Firma zum heute wertvollsten börsennotierten Unternehmen.

## Von 3-D zu 4.0

Welche Bedeutung wird dem 3-D-Druck zukommen? Das parametrische Entwerfen führt zu Formen, von denen ein physisches Modell mit herkömmlichen Mitteln nicht mehr herstellbar ist. Anhand dieser Modelle werden die Varianten eines Entwurfs diskutiert oder die Suche nach Lösungen mit den Projektpartnern besprochen. In etwas grösserem Massstab ist die Fertigung von Einzelstücken vorstellbar, die nach individuellen Wünschen und Erfordernissen hergestellt werden,



Mit dem **Zementdrucker** ist noch lang nicht das Ende der digitalen Fertigung erreicht.

ohne dabei den Kostenrahmen zu sprengen. Der nächste Dimensionssprung betrifft die Produktion von Baugruppen, Modulen oder ganzen Häusern. Wie diese digitale Fabrikation in der Architektur aussehen könnte, wird u. a. an der ETH Zürich erforscht. Der Nationale Forschungsschwerpunkt (NFS) Digitale Fabrikation rückt die Digitale Vor-Ort-Fabrikation und massgeschneiderte digitale Vorfabrikation in den Mittelpunkt. Um die Ziele des vom Schweizerischen Nationalfonds geförderten Projekts zu erreichen, arbeiten Forschende verschiedener Disziplinen zusammen. Sie stammen aus den Bereichen Architektur, Tragwerksentwurf, Materialwissenschaft, Informatik, Regelungstechnik und Robotik. Ein viel grösserer Einfluss auf das Bauen als 3-D-Druck wird in den kommenden fünf Jahren der massiv zunehmenden Verwendung von Robotern in der Produktion zuzuschreiben sein. Hier stehen wir vor einer neuen Dimension im Bauprozess. Die Schweiz ist, zumindest im europäischen Vergleich, hinsichtlich der Faktoren Technologie, Bildung, Forschung, Innovationskraft und Anpassungsfähigkeit gut aufgestellt.

Das Arbeiten in einer digitalen Welt bringt eine Reihe von Veränderungen mit sich, angefangen vom lebenslangen Lernen über neue Abläufe bis hin zu wachsenden Anforderungen im Bezug auf Kompetenzen und Fähigkeiten. Die Frage ist nicht: «Sind wir dazu bereit?», sondern: «Wie gehen wir damit um?» •

Johannes Herold, Redaktor Architektur

### Anmerkungen

1 J. Straw and M. Baxter, iDisrupted, New Generation Publishing, 2014.

2 Knochen, Gelenke, Gewebe, Zähne oder Organe; Einspritzdüsen für Flugzeugtriebwerke.

3 [www.ted.com/talks/skyilar\\_tibbits\\_the\\_emergence\\_of\\_4d\\_printing?language=de](http://www.ted.com/talks/skyilar_tibbits_the_emergence_of_4d_printing?language=de), Februar 2013.

4 Um die Leistung einordnen zu können: Ein normaler PC mit einem Pentium-4-Prozessor bei einer Taktfrequenz von drei Gigahertz kann nach Angaben von IBM etwa sechs GigaFLOPS (109 FLOPS) erreichen. Heutige Supercomputer erreichen eine Rechenleistung von 93 PetaFLOPS (1015 FLOPS).

5 Roland Berger Industrie 4.0 Readiness Index, in «The role of Switzerland within a European manufacturing revolution», März 2015.