

# Feiner, größer, schneller

## Was additive Kunststoff-Fertigung zu leisten vermag. Die Sicht eines Full-Service-Providers

Die Produktion wird immer flexibler, diversifizierter und dezentralisierter. Entscheidend tragen dazu zweifellos die additiven Fertigungsverfahren bei, die auch den Wandel vom produktionsbasierten Design zur designgetriebenen Produktion einleiten. Der 3D-Druck-Dienstleister FIT entwirft in diesem Beitrag ein Best-Practice-Panorama heutiger Technologien.

An über 2000 genau passenden Fügestellen wurde die bis dahin größte jemals 3D-gedruckte Gitterstruktur zu einem 8 m hohen Retabel (Altraufsatz) zusammengefügt © FIT AG/Lisa Kirk



Der Wohlers Report 2021 zur Wirtschaftsanalyse der additiven Fertigung beinhaltet grob vereinfacht zwei Nachrichten, eine gute und eine schlechte. Die gute zuerst: Die additive Fertigung liegt im Trend. Weltweit hat die Branche 2020 einen Wert von fast 12,8 Mrd. USD erreicht. Dagegen ist das Wachstum der Branche in Covid-19-Zeiten von 27,4% (2019) auf 7,5% (2020) gefallen. Interessant sind die Verschiebungen innerhalb der Branche: Während die Mehrheit der Anlagenhersteller 2020 einen spürbaren Umsatzrückgang hinnehmen musste, verzeichneten die 3D-Druck-Dienstleister ein Umsatzwachstum von 7,1%, was ca. 5,3 Mrd. USD in diesem Segment entspricht.

Dass sich das Interesse der Industrie am 3D-Druck in den letzten Jahren in hohen Anlageninvestitionen niedergeschlagen hat, feuert jetzt zurück. Die aufge-

bauten Kapazitäten sollen erfolgreiche Produkte liefern, doch die Industrie tut sich immer noch schwer, mit dem Verfahren ins Rollen zu kommen. Die Vorteile der additiven Fertigung, wie Gestaltungsfreiheit, Funktionsintegration, schnelle Verfügbarkeit, exorbitanter Leichtbau und agile Produktion, sind als Antwort auf den wachsenden Fortschrittsdruck überzeugend. Trotzdem ist auch heute, 30 Jahre nach Erfindung des 3D-Drucks, eine deutliche Kluft spürbar zwischen einer euphorischen Erwartungshaltung und der Sensibilisierung für den tatsächlichen Aufwand, der zur Beherrschung der Technologie betrieben werden muss.

„Die additive Fertigung ist eine der kompliziertesten Technologien, die es derzeit gibt. Um wirkliches Know-how aufzubauen, dauert es mindestens fünf Jahre. Diese Zeit muss man investieren wollen“, schätzt Carl Fruth, CEO der FIT

AG. Schließlich muss die komplette Prozesskette auf die additive Fertigung ausgerichtet werden. Dies beginnt bei der konsequenten Umstellung auf ein fertigungsgerechtes Design, erfordert eine Maschinenausstattung, die Projekte nicht auf das gerade vorhandene Equipment limitiert, und eine erhebliche Infrastruktur für Nachbearbeitung und Qualitätssicherung. Wer den langen Weg abkürzen möchte, greift auf das Know-how von Dienstleistern zurück. „Jetzt kommt die Stunde der Spezialisten“, bestätigt Fruth die Wohlers-Analyse.

Die FIT AG ist einer dieser Dienstleister mit einem Allround-Service rund um die additive Fertigung. Angesiedelt zwischen Anlagenherstellern, Kundenbranchen und Servicedienstleistern, verfügt das Unternehmen mit über 25 Jahren Erfahrung im Projektgeschäft über eine umfangreiche herstellerunabhängige



**Bild 1.** Fertig gefinishte, per Lasersintern (SLS) in mehreren Einzelteilen hergestellte Mittelkonsole für den Toyota LQ © FIT AG/Lisa Kirk

Technologiepalette und eine hohe Expertise in Pre- und Post-Production (Engineering und Prozessentwicklung bzw. Nachbearbeitung und Qualitätssicherung). Einen hohen Stellenwert genießt bei FIT der Bereich Forschung und Entwicklung, der die Validierung neuer Materialien, die industrielle Erschließung neuer Technologien bis hin zum Testbetrieb von Alpha-Maschinen sowie die Beteiligung an zahlreichen Forschungsk Kooperationen umfasst. Dieser Expertise entspringt die folgende Übersicht als ein Best-Practice-Panorama heutiger Technologien.

### Individualisierung und Bauteilgröße – notwendige Fügeprozesse beim Lasersintern

Eines der bestbeherrschten und am weitesten etablierten Kunststoffverfahren ist das Laser-Powder-Bed-Fusion-Verfahren des selektiven Lasersinterns (SLS). Dabei wird Polyamidpulver bis kurz vor den Schmelzpunkt erhitzt und durch einen CO<sub>2</sub>-Laser selektiv verbunden. Die Schichtdicken liegen etwa bei 100 bis 120 µm (z.B. EOS P 730, P 760). Das SLS-Verfahren ist mit seinen klassischen Materialien wie

PA 11, PA 12, PA-GF, Alumide, TPU2 und PA 2241 FR für Prototypen, aber auch Kunststoff-Serierteile breit gefragt. Die neuesten Anlagen zielen auf eine deutliche Leistungssteigerung ab, so trägt die EOS P 500 Polymerpulver mit einer Rekordgeschwindigkeit von bis zu 600 mm/s auf die Bauplattform auf.

Ein Nachteil im SLS ist bislang die Größenbegrenzung aufgrund des Bauraumvolumens. Größere Bauteile müssen aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt werden. Weiterhin sind industriell hochfeste Anbindungen von individuellen SLS-Teilen z.B. an spritzgegossene Massenbauteile von hohem Interesse, um dem Trend des Customizings folgen zu können. Um diese Ziele zu erreichen, sind nachgelagerte Fügeprozesse für SLS-Bauteile notwendig. Die besten Verbundeigenschaften, stabil und mediendicht, bietet hier im Vergleich zu Kleben oder Schrauben das Schweißen, dessen Wechselwirkungen mit dem SLS-Bauteil grundlegend im Forschungsprojekt FAB-Weld [1] erforscht werden. Hierbei zeigen sich Abweichungen zum Schweißprozess konventioneller Bauteile, die auf SLS-spezifische Einflussfaktoren zurückzuführen sind.

Die komplexe Oberflächenstruktur wie auch die veränderten Absorptions- und Fließigenschaften der SLS-Bauteile führen z.B. im Infrarotschweißprozess zu einer veränderten Nahtausprägung, die in der Prozessauslegung berücksichtigt werden muss. Für einen nachfolgenden IR-Schweißprozess ist zudem die Aufbau- richtung der SLS-Bauteile zu beachten – insbesondere eine schräge Platzierung im Bauraum wirkt sich aufgrund einer erhöhten Oberflächenrauheit und eines möglichen Treppenstufeneffekts ungünstig auf das Erwärmverhalten aus –, wohingegen der Vibrationsschweißprozess weitestgehend unabhängig von der Aufbaurichtung ist.

Durch Fertigungskriterien im SLS-Prozess (z.B. schweißoptimierte Aufbau- richtung) und Anpassungen in der Schweiß- prozessführung (u.a. Erwärmzeit) werden aber auch für SLS-Bauteile untereinander sowie in Kombination mit Spritzgussteilen hochfeste Verbindungen im Bereich der Grundmaterialfestigkeit erreichbar. „Das Vibrationsschweißverfahren schneidet bei Verbindungen zwischen kompakten SLS-Vollmaterial-Bauteilen leicht besser ab, wohingegen Infrarotschweißen für dünnwandige SLS-Strukturen aufgrund der geringeren mechanischen Belastung während des Schweißprozesses zu bevorzugen ist“, fasst Michael Wolf vom Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT) der Universität Erlangen-Nürnberg zusammen.

Ein Beispiel für eine reale Industrie- applikation von SLS-Komponenten ist die futuristisch anmutende, frei stehende Mittelkonsole mit integriertem Touchpad im neuen LQ von Toyota (**Bild 1**). Das Engineeringteam hat ein fertigungsoptimiertes Leichtbau-Redesign der Geome- ➤

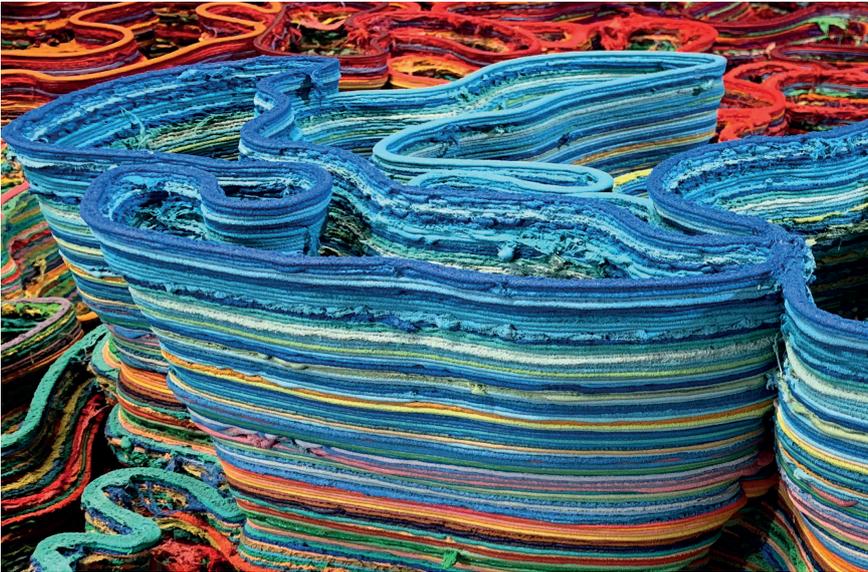
**EJS**  
www.ejschina.com

PUT E.J.S. TO THE CHALLENGE FOR YOUR SINGLE AND TWIN SCREWS BARRELS

**YOUR GO-TO MANUFACTURER AND PARTNER FOR SCREW BARREL**

**E.J.S. INDUSTRY CO., LTD**  
Export Office: 55 Dongdu Road, Haishu District, Ningbo, China 315000  
Factory Add.: Xihou Industrial Zone, Jintang Town, Zhoushan, China 31600  
Tel: +86-574 8306 5911 Mob: +86-137 3615 8017  
Fax: +86-574 8306 5601 sales@ejsscrewbarrel.com

Schnecken und Zylinder



**Bild 2.** Schichtdetail der schallabsorbierenden Raumskulptur, die im Robotic-FDM-Verfahren entstand © FIT AG/Oliver Cynamon

trie und der inneren Struktur durchgeführt, unter Berücksichtigung der von der Toyota Motor Corporation vorgegebenen Normen und Konstruktionsrichtlinien. Das verwendete Material war PA 2241 FR. Mit einer Dimension von 1200 x 250 x 480 mm wurde das Bauteil in acht geometrisch sinnvolle Einzelkomponenten zerteilt. Die Qualität jedes einzelnen Elements wurde durch mehrere Zugproben sichergestellt. Die Designalternativen wurden FEA-Analysen zur digitalen Simulation der einwirkenden Kräfte beim Einsatz des Fahrzeugs unterzogen. Validiert wurde das Design schließlich in einer Testproduktion, um die Funktionsfähigkeit der kundenspezifischen Halterungen für das optimale Schweißen und Montieren sicherzustellen.

### **FDM-Variante mit schwenkbarem Roboterarm**

Die Vorstellungen über das 3D-Drucken am nachhaltigsten geprägt hat das FDM-Verfahren (Fused Deposition Modeling). Kunststofffilament aus formstabilen Thermoplasten wird in einem Extruderkopf erhitzt und in Schichten auf eine Bauplattform aufgetragen. Eine interessante Aktualisierung dieses Prinzips bietet das „Robotic FDM“, bei dem der Extruder an einem schwenkbaren Roboterarm angebracht ist, sodass je nach Aktionsradius deutlich größere Objekte möglich werden. Als Material ist Kunststoffgranulat in einem breiten Spektrum geeignet; sanfte

Materialwechsel, z.B. von glasfaserverstärktem ABS zu Polycarbonat sind umsetzbar. Der Preis für die Vielseitigkeit ist aber ein hoher technischer Aufwand bei der Prozessentwicklung, denn im Grunde muss für jedes Projekt ein eigener Herstellungsprozess mit jeweils eigenen Prozessparametern (Justierung der Temperaturen, Anpassung der Aufbauraten, etc.) auf Basis des gewünschten Materials spezifiziert werden.

Ein Beispiel für die individuellen Lösungen, die ein Projekt mit Robotic FDM erfordert, ist das Kunstobjekt „Stilles Orchester“ mit schallabsorbierender Funktion des Künstlers Peter Lang (**Bild 2**). Um im gesamten bionisch inspirierten Objekt einheitlich parallele Schichten zu erzielen, musste ein spezieller Algorithmus programmiert werden, mit dem der Roboterarm einen Fahrweg über die komplette Baufläche von 6 x 3 m ohne Materialüberschneidungen beschreiben kann. Das Material musste einem vielfältigen Anforderungskatalog gerecht werden, mit Kriterien wie Nachhaltigkeit, einer faserigen Konsistenz für die Schallabsorption, guter Einfärbbarkeit, Flammschutz und natürlich der generellen Eignung für die Materialextrusion. Mit Arboblend (Hersteller: Tecnar) wurde für die nahezu CO<sub>2</sub>-neutrale Fertigung ein biokompatibler Kunststoff gewählt, der mithilfe von Bier als natürlichem Klebstoff und hochwertigen Pigmenten aus dem Hause Pigment Kremer in farbiges Granulat verwandelt wurde [2].

### **Formstabile Hohlkörper bis 1,80 Meter Höhe durch GDP**

Ähnlich wie FDM arbeitet auch das relativ neue Gel Dispensing Printing (GDP) des israelischen Unternehmens Massivit, bei dem ein hochviskoses Gel (Dimengel, ein proprietäres weißes Photopolymer auf Acrylbasis) aus einem Extruder schichtweise aufgetragen und mit UV-Licht ausgehärtet wird. Mit GDP lassen sich nahezu alle Geometrien als formstabile Hohlkörper und ohne Stützstrukturen in schnellen Aufbauraten mit 2 kg Material pro Stunde bis zu einer Höhe von einteilig 1,80 m fertigen. Die Komponenten sind leicht und schwer entflammbar gemäß DIN 4102 – class B2 / ASTM D635 / UL 94 HB.

Die Stärke des Verfahrens zeigt das Beispiel einer großen Werbeplastik für den Produktlaunch einer neuen Gesichtsercreme von L'Oréal (**Bild 3**). Auf der Pressekonferenz sollte das Produkt aufmerksamkeitsstark in Szene gesetzt werden. Für eine möglichst kurze Time-to-market wurde dazu in nur einer Woche ein fertigungsgerechter 3D-Datensatz mit Reverse Engineering erstellt, das Objekt in drei Einzelteilen gedruckt, zu seiner vollen Größe von knapp 1,80 m zusammengefügt und aufwendig von Spezialisten veredelt.

### **Riesige Farbpalette beim 3D-Druck mit Photopolymeren**

Zum festen Inventar der Kunststoffteilfertigung gehört die Stereolithographie (SLA), das älteste 3D-Druckverfahren, bei dem ein duroplastisches Kunst- oder Epoxidharz durch einen UV-Laser ausgehärtet wird (**Bild 4**). Der Nachbearbeitungsaufwand schließt die Supportentfernung und gegebenenfalls einen Aushärtungsprozess durch UV-Belichtung ein. SLA erzeugt hochgradig isotrope Bauteile, die über eine sehr hohe Detailauflösung, Genauigkeit und sehr glatte Oberflächen ( $R_a \approx 2 \mu\text{m}$ ) verfügen. Die Schichtdicken liegen bei 25 bis 30  $\mu\text{m}$  (z.B. mit ProX800 oder ProX950 von 3D Systems) und sogar bei minimal 10  $\mu\text{m}$  für hochfeste Funktionsteile mit dem Drucksystem Figure 4 desselben Herstellers.

Für die Stereolithographie werden proprietäre Hochleistungspolymere wie Accura Xtreme White 200, Accura ClearVue oder Accura HPC verwendet, für Fi-



**Bild 3.** Fertig gefinishte Werbeplastik für L'Oréal mit GDP-Korpus, der durch Photopolymerisation eines hochviskosen Gels erzeugt wurde

© FIT AG/Lisa Kirk



**Bild 4.** SLA-Modell eines Gesichtsschädels zur OP-Vorbereitung

© FIT AG/Lisa Kirk

gure 4 steht ein eigenes Materialspektrum zur Verfügung mit Tough-Gry 10, MED-AMB 10, u.v.m.

Beim PolyJet-Verfahren hingegen trägt ein Druckkopf flüssiges Photopolymer schichtweise direkt auf die Bauplattform auf, die Aushärtung erfolgt mit UV-Licht. Damit können Bauteile mit einer sehr feinen Schichtdicke von 14 bzw.

27  $\mu\text{m}$  und einer Maßgenauigkeit von  $\pm 0,1\%$  mit extrem glatten ( $R_a \approx 6 \mu\text{m}$ ), porenfreien Oberflächen hergestellt werden. Die Teile sind sofort als echte Produkte verwendbar. Das Besondere an diesem Verfahren ist, dass Bauteile vollfarbig, transluzent oder mit Texturen in hoher Detailauflösung hergestellt und mehrere Materialien mit unterschiedlichen Eigen-

schaften (z. B. verschiedene Härtegrade) in einem Arbeitsgang gemischt werden können (**Bild 5**). So stehen auf dem 3D-Drucker Stratasys J750 des gleichnamigen Herstellers mehr als 500 000 Farbnuancen zur Verfügung. Über den Zusatzservice Capps.it kann Farblichkeit durch ein kalibriertes Farbmanagement garantiert werden. »

# ZUKUNFT NACHHALTIG GESTALTEN



Stand 2209  
Halle B2

**K.D. FEDDERSEN**  
www.kdfeddersen.com

**AKRO-PLASTIC**  
www.akro-plastic.com

**AF-COLOR**  
www.af-color.com

**BIO-FED**  
www.bio-fed.com

**POLYCOMP**  
www.polycomp.de

**M.TEC**  
www.mtec-engineering.com

**Bild 5.** Im PolyJet-Verfahren können Bauteile, wie hier Rücklicht und Schaltknauf, vollfarbig, transluzent oder mit Texturen in hoher Detailauflösung hergestellt werden

© FIT AG/Lisa Kirk



Ein Beispiel aus dem Medizinbereich sind Augenprothesen (**Bild 6**). Ein wegweisendes Forschungsprojekt [3] erarbeitet einen Prozess zur Bereitstellung von realitätsgetreuen und passgenauen „Glasaugen“ in individualisierter Serienfertigung. Die Herstellung einer Hightech-Augenprothese dauert mit additiver Fertigung statt rund 24 Wochen nur wenige Stunden, was für den Patienten eine enorme Erleichterung darstellt. Auch für die Qualität ist Additive Manufacturing ideal, denn jede Iris hat ein einzigartiges Muster von Furchen, Streifen oder Flecken. Speziell der Vollfarb-PolyJet-Druck ist in der Lage, aus biokompatiblen Photopolymeren die realistische Kopie einer Iris mit einem erstaunlichen Eindruck von dreidimensionaler Tiefe, mit opaken und transparenten Partien und einer lebensechten Textur einschließlich der Optik feiner Adern am Augapfel herzustellen.

### Feinste Geometrien im SAF-Verfahren

Beim Verfahren des Binder Jetting schließlich wird aus einem Druckkopf ein flüssiges Bindemittel auf eine Schicht Kunststoffpulver aufgetragen, das die betroffenen Bereiche verklebt. Die Endfestigkeit der Bauteile wird durch eine nachgelagerte Wärmebehandlung erreicht. Die Schichtdicke liegt bei 150 µm (z. B. Voxeljet VX800 und VX500). Das Prinzip des Binder Jetting ist vielseitig einsetzbar und wird auch für die Verarbeitung anderer Materialklassen als Kunststoff verwendet, beispielsweise bei Ceramic Printing und Selective Cement Activation.

Eine interessante Aktualisierung im Kunststoffbereich stellt die neue SAF-Technologie von Stratasys (Selective Absorption Fusion) dar. Dabei wird auf das Bett aus Polyamidpulver selektiv eine Infrarotlicht absorbierende Flüssigkeit aufgetragen. Das verwendbare Material ist PA 11. Die maximale Bauteilgröße liegt bei 315 x 208 x 293 mm (Stratasys H350), die Schichtdicke beträgt 100 µm, sodass homogene Polyamid-Bauteile in Industriqualität auch bei äußerst kleinen, feinen Geometrien erzielt werden (**Bild 7**). Das Verfahren strebt danach, wettbewerbsfähig mit dem Spritzgießen zu sein und höhere Stückzahlen zu gestatten. Interessant ist auch die hohe Recyclingquote des Materials (70% laut Herstellerangabe).

### Wie sich additive und konventionelle Verfahren ergänzen

Überhaupt gilt das Spritzgießen für die Serienfertigung häufig als Messlatte, wenn es um die Produktivität eines Verfahrens geht. „Als ehrgeizige Kennzahl

mag das angehen. Das gleiche Bauteil mit additiver Fertigung günstiger zu machen, ist aber ein Wunsch, der an der Realität vorbeigeht“, erklärt Carl Fruth. „Die technischen Erwartungen aus dem Spritzguss auf die additive Fertigung zu übertragen ist das Problem des alten Weins in neuen Schläuchen.“ Additive Fertigung hat nicht zum Ziel, konventionelle Verfahren zu ersetzen, sondern ihr Mehrwert liegt darin, das bestehende Fertigungsspektrum zu ergänzen und die Grenzen des technisch Machbaren zu verschieben. Dabei kann additive Fertigung das Spritzgießen durchaus optimieren, beispielsweise indem man verbesserte Spritzgießwerkzeuge mit Laserschmelzen statt Fräsen herstellt.

Neuere Ansätze in der additiven Fertigung zielen auf eine kombinierte, gleichzeitige Fertigung von Formwerkzeug und Bauteil ab, um beispielsweise komplexe, sehr weiche Silikonteile mit einer Shorehärte von 25 A zu fertigen, die so bislang mit keinem anderen Verfahren zugänglich sind. Ein solches Verfahren wird gerade bei FIT industrialisiert.

Wie sich additives Engineering und Manufacturing, additive und konventionelle Verfahren ergänzen, zeigt FIT am Beispiel eines Filterträgers, der zu Beginn der Covid-19-Pandemie die unterbrochenen Lieferketten bei Mund-Nasen-Bedeckungen zu überbrücken half. Die typische Form des Filterträgers wurde in wenigen Tagen konstruiert, im SLS-Verfahren wurden Prototypen zur ergonomischen Optimierung der Formgebung aus Kunststoff (PA 12) hergestellt. Vom finalen Design wurden schließlich Werkzeugeinsätze durch Laserschmelzen mit Stahlpulver gefertigt, die einen Ausstoß von bis zu 30000 Filterkörperchen pro Tag lieferten

## Die Autorin

**Dr. Elisabeth Bauer** ist Head of PR bei der FIT AG, Lupburg; [elisabeth.bauer@pro-fit.de](mailto:elisabeth.bauer@pro-fit.de)

## Service

### Literatur & Digitalversion

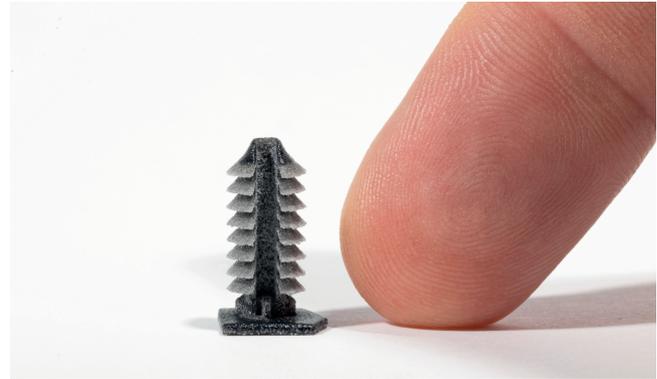
➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 6.** Realitätsgetreue Augenprothesen aus einem Vollfarb-PolyJet-3D-Drucker © FIT AG/Steffen Galster



**Bild 7.** Tannenbaum-Dübel mit elastischen Lamellen, hergestellt durch SAF-Technik © FIT AG/Steffen Galster

(Bild 8). Das Endmaterial der Spritzgussteile war PE.

### *Vom produktionsvorgegebenen Design zur designgetriebenen Produktion*

Um ein Zwischenfazit zu ziehen: Das Technologiespektrum der Fertigungsverfahren zeigt sich ausdifferenziert und – mit dem entsprechenden Know-how – gut beherrschbar, es deckt mittlerweile umfassende Produkthanforderungen beispielsweise in Bezug auf große Formate oder eine feine Auflösung ab. Die Qualität der Ergebnisse steht und fällt aber letztlich mit der Qualität des Engineerings, denn der Paradigmenwechsel vom produktionsvorgegebenen Design zur designgetriebenen Produktion ist charakteristisch.

Additives Engineering hat vielfältige Aufgaben zu erfüllen. Produkthanforderungen wie Funktionsintegration und Leichtbau treffen auf Forderungen nach fertigungsgerechtem und verfahrensspe-

zifischem Design, effizientem Materialeinsatz durch Topologieoptimierung, effizienter Bauraumauslastung für Serienteile, möglichst gering zu haltenden Anschlusskosten für die Nachbearbeitung und einer insgesamt kurzen Entwicklungszeit. Zeit und Kosten können hier durch Digitalisierung und Automatisierung und den Einsatz geeigneter Softwaretools gespart werden, wie der Design- und Konstruktionsexperte für die additive Fertigung Antonius Köster beschreibt: „Gitterstrukturen, generatives Design, Strukturoptimierung und Simulationen finden sich immer häufiger in den Entwicklungsabteilungen. Ich wage den Blick in die Glaskugel und sage voraus, dass wir in Zukunft mit Software, Werkstoffen und den passenden Verfahren Produkteigenschaften gestalten können, die bisher unvorstellbar waren. Materialübergänge beispielsweise werden am Rechner entworfen, durch Simulation geprüft und direkt in die Bauprozesse übertragen.“

So können Designiterationen nach unterschiedlicher Schwerpunktsetzung (Kosten, Funktionen, Qualitätsparameter) schneller und kostengünstiger durchgeführt werden. Beispiele für leistungsfähige Softwaretools sind Netfabb Simulation, Altair Hyper Mesh, Autodesk CFD, Frustum, solidThinking Inspire, Elise oder Autodesk Nastran.

### *Computational Engineering automatisiert die Konstruktion*

Um die hohen Entwicklungskosten der additiven Fertigung zu begrenzen, liefert Computational Engineering interessante Lösungen, den Designprozess technischer Produkte durch automatisierte Konstruktionslösungen und intelligente Algorithmen zu digitalisieren. Die Rolle des Konstrukteurs wandelt sich zum Programmierer. Die automatisiert erzeugten Designvarianten können einfach und schnell unter Geschmacks-, Funktions- und Kostengesichtspunkten vergli- »

# Pressensysteme, so individuell wie Ihre Ansprüche.

**RUCKS Maschinenbau GmbH**

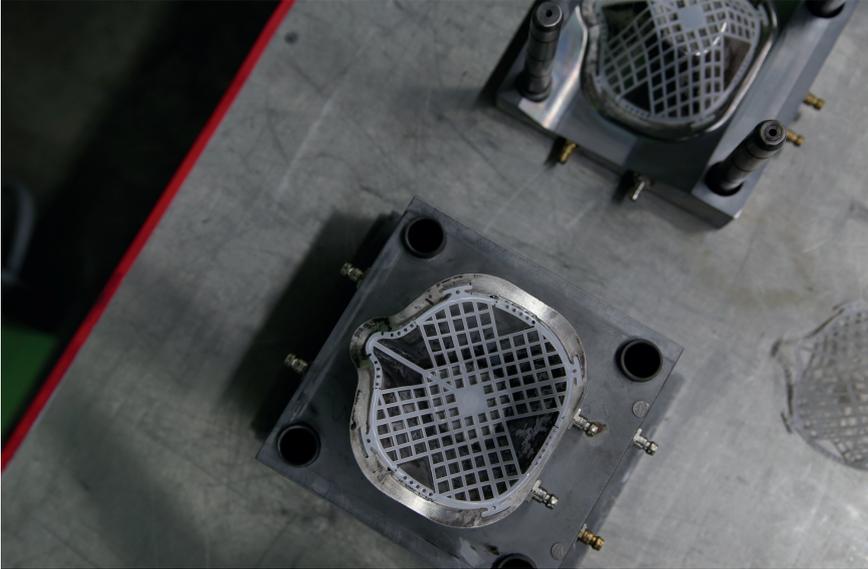
Auestraße 2, 08371 Glauchau

Telefon: 0 37 63/6003-0, E-Mail: info@rucks.de

[www.rucks.de](http://www.rucks.de)



**R**  
RUCKS



**Bild 8.** Filterkörbchen aus PE im Spritzgießwerkzeug, dessen Formeinsatz durch Laserschmelzen gefertigt wurde © FIT AG/Lisa Kirk

chen werden. Es kann beispielsweise sofort überprüft werden, wie sich eine bestimmte Parameteränderung auf die Herstellkosten auswirkt.

Welchen Einfluss Technologie, Material und Algorithmus auf das Design des Endprodukts haben, zeigt der folgende Vergleich 3D-gedruckter Stehtische, die mit verfahrensabhängig ausgewählten Algorithmen konstruiert wurden. Um den geometrisch komplexen Standfuß des SLS-Tisches (**Bild 9**) in der benötigten Höhe aus PA 12 zu realisieren, wurde er in 60 einzelnen Teilen gefertigt und nach einem genauen Plan zusammengesweißt. Die komplexe, dreidimensionale Rosettenstruktur wurde mittels „Penrose Mapping“ aus regelmäßigen Rautenelementen in Rotations- und Spiegelsymmetrien

generiert. Jedes Einzelteil ist dabei eine Variante der Grundform.

Für die ornamentale Gittergeometrie des SLA-Tisches (**Bild 10**) wurde das Prinzip des „Box-Morphing“ angewandt, eine leistungsfähige Alternative zum CAD-Ansatz der Geometrieangepassung. Dabei wird die Außengeometrie vorgegeben, eine Designgrundform wird in eine Box als Rahmen gepackt, die Boxen werden auf die Gesamtform des Tisches gemorpt und die Geometrie in die „verzerrte“ Box gemappt. Dies erlaubt sehr komplexe Geometrien, die aber gut zu handhaben sind. Der Datensatz für den Tisch weist eine sehr hohe Auflösung auf, die an Hochleistungsrechnern nur mithilfe spezieller Expertenalgorithmen erreicht und verarbeitet werden kann.



**Bild 9.** Der Standfuß des Designertisches besteht aus 60 lasergesinterten Einzelteilen, die miteinander verschweißt wurden © FIT AG/Lisa Kirk



**Bild 10.** Die ornamentale Gittergeometrie dieses Tisches entstand im Stereolithographieverfahren © FIT AG/Lisa Kirk

Die Besonderheit im Design des GDP-Tisches (**Bild 11**) liegt in der „Overhang Evaluation“, denn der ganze Körper besteht konisch aus nach oben immer größer werdenden Bubble-Motiven. Der schließende Deckel setzt, komplett ohne Supports gebaut, nahezu in einem 90°-Winkel auf. Das gesamte Objekt wurde in nur zwei Stunden gedruckt, die 2 mm dünne Haut wurde zur Stabilisierung mit Schaum ausgefüllt. In einer aufwendigen Nachbearbeitung wurde der Rohkörper schließlich mit einer hochwertigen Bronzebeschichtung veredelt, sodass der Tisch die Anmutung und Haptik von Bronze hat, wetterbeständig ist und auch wie Bronze altert, im Vergleich zu Bronze-guss aber bedeutend günstiger in der Herstellung ist.

Der mit Robotic FDM hergestellte Stehtisch (**Bild 12**) wurde per „Design Layer Tweening“ konstruiert. Dazu wurden die drei Schlüssellayer Boden, Mitte und oberer Rand definiert und alle anderen Layer davon ausgehend in einem organisch wirkenden Verlauf automatisch aufgebaut.

### *Nachbearbeitungsschritte vorziehen oder automatisieren?*

Prozessoptimierungen setzen aber auch beim Aufwand für die Nachbearbeitung an. Generell wird dieser so gering wie möglich gehalten, um Herstellkosten und -zeiten zu minimieren. Bei den Verfahren, bei denen eine Stützstruktur entfernt werden muss, ist es eine der Aufgaben des Engineerings und der Datenaufbereitung, den Aufwand dafür von vornherein möglichst gering zu halten. Technische

Ansätze versuchen Nachbearbeitungsschritte in die Produktion vorzuziehen oder die Supportentfernung zu automatisieren. Dem stehen Bemühungen entgegen, die produktionsbedingte Bauteilqualität durch eine zusätzliche Bearbeitung zu steigern, z.B. eine Wärmebehandlung (HPHT, High Pressure Heat Treatment) oder elektro-mechanisches Glätten (Hirtisieren, ein patentiertes Verfahren des österreichischen Spezialisten Hirtenberger Engineered Surfaces).

Aber auch die Herausforderungen an Standardmethoden wie das Fügen werden mit steigender Komplexität der Projekte größer, wie das Beispiel des Kirchenkunstwerks von Altmühldorf zeigt. Für die Neugestaltung des Altarraums wurde ein spektakuläres, filigran strukturiertes Retabel gefertigt [4]. Aufgrund ihrer Ausmaße (8 x 2,50 m) wurde die bis dahin größte jemals 3D-gedruckte Gitterstruktur in über 60 jeweils unterschiedlichen Einzelteilen aus PA 12 per SLS hergestellt, die an über 2000 präzise passenden Verbindungsstellen nahtlos zu einem perfekten Ganzen zusammengefügt werden mussten (**Titelbild**).

Wie die Nachbearbeitung wirtschaftlich mit der Fertigung verzahnt werden kann, zeigt der „Metal Coating“-Prozess. Durch Galvanisierung können Kunststoffteile so veredelt werden, dass sie über die Metalloptik hinaus echte mechanische und elektrische Metalleigenschaften wie z.B. Langzeitstabilität, Festigkeit und Steifigkeit, Leitfähigkeit und EMV-Abschirmung erhalten. Die Zielgeometrie für eine gleichmäßige Schichtdicke liegt für Nickel und Kupfer bei  $\pm 20 \mu\text{m}$ . Beschichtet man beispielsweise ein SLA-Teil mit Nickel (150  $\mu\text{m}$ ), lassen sich Eigenschaften von Carbon erzielen. Ein gutes Beispiel für den wirtschaftlichen Kompromiss zwischen perfekten Oberflächen und gedrosselten Produktionskosten sind Teile für Aerodynamiktests im Windkanal wie der vernickelte SLA-Bremsbelüfter (**Bild 13**).

### Qualitätssicherungssysteme über die gesamte Wertschöpfungskette

Den großen Bogen über jede Fertigungsoptimierung und alle Bestrebungen zur Effizienzsteigerung und Kostenreduzierung spannt aber das Thema Qualität auf. Die Wertschöpfungskette der additiven Fertigung muss durch ein klar definiertes Qualitätssicherungssystem abgesichert sein, das ein durchaus umfassendes Spektrum an zerstörenden und zerstörungsfreien prozessabhängigen Verfahren an allen Stellen der Prozesskette – vor, während und nach der Fertigung – vorsieht. Damit will man zum einen das Vertrauen der Kunden in die neuen Verfahren festigen, zum anderen sind Qualitätsnachweise mittlerweile eine Grundvoraussetzung, um die gerade bei echten Endanwendungen erforderlichen Zulassungsprozesse zu bestehen.

Beispiele für verpflichtende Industriestandards sind etwa die allgemeine Qualitätsnorm ISO 9001 mit z.B. FMEA oder 8D-Reports, KVP und Kanban, ISO 9100 für die Luft- und Raumfahrt, ISO 13485 und FDA-Compliance für Medizinprodukte sowie TISAX (Trusted Information Security Assessment Exchange) als von der Automobilindustrie definierter Standard für Informationssicherheit. Auch bei den Materialentwicklungen spielen industriespezifische Zertifizierungen eine wichtige Rolle, z.B. die Brandschutzzertifizierungen »

**INDUSTRIEPROZESSE UNTER KONTROLLE**

INTERNATIONALER SPEZIALIST FÜR VERNETZTE PROZESSLEITSYSTEME IN BEREICHEN KUNSTSTOFF-, VERBUNDWERKSTOFFVERARBEITUNG, KALENDRIEREN UND CHEMIE.

HEISSKANALTEMPERATURREGELUNG

WERKZEUGTEMPERIERUNG

KASKADENSTEUERUNG

BETRIEBS- UND PROZESSDATEN ERFASSUNG

[www.sise-plastics.com](http://www.sise-plastics.com)  
e-mail: [verkauf.de@sise-plastics.com](mailto:verkauf.de@sise-plastics.com)

**ELMET**  
SMART SILICONE SOLUTIONS  
[www.elmet.com](http://www.elmet.com)

MOLDS.  
DOSING TECHNOLOGY.  
PART PRODUCTION.  
JOBS.

Fakuma  
HALL: A5  
BOOTH: 5306  
12. - 16. October 2021  
Friedrichshafen

**Bild 11.** Das gesamte Objekt wurde mit GDP als Hohlkörper gedruckt, mit Schaum ausgefüllt und mit Bronze beschichtet

© FIT AG/Lisa Kirk



**Bild 12.** Per Robotic FDM hergestellter Designtisch © FIT AG/Lisa Kirk

der Materialien Ultem 9085 (ein PEI) und Antero 800NA (ein PEKK) für den Bus- und Bahn-Bereich nach EU-Norm 45545-2 oder die Biokompatibilitäts- und Lebensmittelkontakt-Freigaben für das Material Ultem 1010 (ebenfalls ein PEI, Hersteller jeweils Stratasys) unter Berücksichtigung der NFS-51 Standards und der Richtlinie ISO 10993/USP Class VI.

Die additive Fertigung in ihrem aktuellen Entwicklungsgrad macht die Produktion heute flexibler, diversifizierter und dezentralisierter. „Die additive Fertigung von Kunststoffen gewinnt zunehmend an Bedeutung. [...] Eine hochdynamische Entwicklung neuer Werkstoffe und Prozesse für die additive Fertigung begünstigt diesen Trend“, beobachtet Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer vom LKT in Erlangen-Nürnberg die Entwicklung. Themen wie Nachhaltigkeit zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie das Wiederver-

wenden bzw. Recycling von Materialien müssen noch mehr adressiert werden.

### *Künstliche Intelligenz im Kommen*

Auch künstliche Intelligenz ist stark im Kommen und wird „Trial and Error“ durch vorhersagbare Resultate ersetzen. Dabei wird die technische Entwicklung durch zwei teilweise antagonistische Ziele angetrieben: die Qualität zu heben und die Kosten zu senken. „Bei allen Bemühungen sehe ich aber keinen Preissturz in nächster Zeit“, dämpft Carl Fruth die Erwartungen. Trotzdem bewegt sich die Industrie, wie auch der Lackmest der Krise letztlich gezeigt hat, weiter zielstrebig auf die Produktion von qualitativ hochwertigen Endprodukten wie Serien- und Ersatzteilen zu. Immer mehr echte Industrieanwendungen aus additiver Fertigung finden sich heute quer durch alle Branchen.

Eine zentrale Rolle nimmt dazu die industriespezifische Zertifizierung von Prozessen, Anwendungen und Materialien ein. Besonders die Sektoren Fahrzeugbau, Rennsport, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau und Energie zeigen eine große Affinität für den industriellen 3D-Druck. Ein verstärkter Fokus liegt, wie auch im Wohlers Report 2021 festgestellt, auf dem Bereich Medizintechnik. Individualisierung ist einer der großen Megatrends heute und führt zu einer dynamischen Nachfrage nach maßgeschneiderten Serienprodukten.

### *Bisher nur an der Oberfläche gekratzt*

Die Branche, die derzeit am meisten durchstartet, ist Architektur und Bauwesen. Stoffe wie das zementähnliche Econit und Geopolymere versprechen neue Perspektiven für die additive Fertigung. „Die additive Fertigungsindustrie war noch nie so spannend wie heute. Völlig neue Arten von Produkten werden für die additive Fertigung entwickelt und mit ihrer Hilfe auf den Markt gebracht. Dennoch hat die Einführung der additiven Fertigung für die Serienproduktion bisher nur an der Oberfläche dessen gekratzt, was möglich ist“, erklärt der AM-Experte Terry Wohlers im Interview und fügt hinzu: „Für die Zukunft können wir davon ausgehen, dass additive Fertigung die Marke von einer Billion US-Dollar überschreiten wird. Aber bis das der Fall ist, muss in den meisten Industriesektoren noch jede Menge Arbeit geleistet werden.“ ■



**Bild 13.** Durch Metal Coating vernickelter SLA-Bremsbelüfter © FIT AG/Lisa Kirk