

Richard Hagl

Das 3D-Druck-Kompendium

Leitfaden für Unternehmer,
Berater und Innovationstreiber

2. Auflage



Springer Gabler

Das 3D-Druck-Kompendium

Richard Hagl

Das 3D-Druck-Kompendium

Leitfaden für Unternehmer, Berater und
Innovationstreiber

2. Auflage



Springer Gabler

Richard Hagl
München
Deutschland

ISBN 978-3-658-07046-5 ISBN 978-3-658-07047-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-07047-2

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler
© Springer Fachmedien Wiesbaden 2015
1. Aufl.: © Selbstverlag des Autors Richard Hagl, Core Consulting GmbH, München 2013
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Lektorat: Stefanie A. Winter

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Gabler ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-gabler.de

Vorwort



Abb. 1 Richard Hagl mit dem 3D-Druck eines Modells einer Wohnanlage. Das Modell wurde im Lasersinter-Verfahren erstellt. (Quelle: Core Consulting GmbH)

Lieber Leser, die hohe Dynamik, mit der 3D-Druck sehr deutlich im Privatverbrauchermarkt, aber auch in der Industrie von den Medien propagiert wird, ist in ihrer globalen Reichweite und Popularisierungstaunenswert. Kontinuierlich erfährt die Welt von neuen Anwendungsmöglichkeiten des 3D-Drucks, und der Fantasie für zukünftige Einsatzvariationen der Technologie scheint keine Grenze gesetzt.

Die neue Innovation bietet den Stoff für Zukunftsspekulationen – und vor allem für Träumereien.

Wir befinden uns zurzeit in einer industriellen Umbruchphase. Doch während die Stimmen der Boulevardpresse aktuell von einer weiteren „industriellen Revolution“ sprechen, haben Praktiker und Pragmatiker „die Weisheit tatsächlich gepachtet“, denn mit den „oh, so neuen“ Technologien wird schon seit Jahrzehnten erfolgreich gearbeitet!

Dieses Buch soll ein Wegweiser sein: von der Industrie für die Industrie.

Ziel des Buches ist es also, auf Innovationen aufmerksam zu machen, die Sie als Unternehmer oder Führungskraft für die eigene (Unternehmens-)Entwicklung nutzen können. Darüber hinaus soll es einen Beitrag dazu leisten, Nachfrager mit ihren spezifischen Bedürfnissen an die richtigen Anbieter zu vermitteln.

Machen Sie sich anhand dieses Buches selbst ein Bild vom Disruptions-Potenzial der 3D-Druck-Technologie und identifizieren Sie die Chancen für Ihr Unternehmen.

München, im August 2014

Richard Hagl

Danksagungen

Das 3D-Druck-Kompendium ist ein Gemeinschaftswerk. Insbesondere die Erstausgabe war das Ergebnis eines hart arbeitenden Teams. Besonders bedanken möchte ich mich bei:

Eliser Wiedemann, der in Rekordzeit das erste E-Book zusammengebaut, interaktive Elemente programmiert und die schematischen Zeichnungen der Geräte erstellt hat. Letztere hat er dann für die zweite Ausgabe für einen „2D-Druck“ optimal aufbereitet.

Alexander Schenk, der monatlang „Tag und Nacht“ recherchiert hat und sich tief in die 3D-Druck-Technologie und ihre Anwendungsmöglichkeiten eingearbeitet hat.

Meiner Schwester, Dr. Cornelia Hagl, die uns als Lektorin und vor allem in der Kommunikation nach außen sehr unterstützt und stets konstruktiv angetrieben hat.

Patrick Wutz, der insbesondere in der dichten Schlussphase der Erstausgabe den Überblick behalten hat und uns organisatorisch auf dem „richtigen Pfad“ hielt.

In Rekordzeit ist es uns gelungen, die Grundlage für unsere Vision, ein für den deutschsprachigen Raum optimiertes Kompendium für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber zu erschaffen!

Besonderer Dank gilt auch den Unternehmen, die uns Fallbeispiele und Unternehmensvorstellungen zur Verfügung gestellt haben und meine zahlreichen Fragen – teilweise bei Treffen vor Ort – geduldig und fachmännisch beantwortet haben.

Vielen Dank auch an Stefanie Winter vom Springer Gabler Verlag, die mich bei der zweiten Auflage sicher durch den Verlagsprozess geleitet hat.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Wie es zu diesem Buch kam	1
1.2 Das Kompendium	3
1.2.1 Die Idee	3
1.2.2 Feedback und Mitmachen	3
1.2.3 Weiterführende 3D-Druck-Beratung	4
1.2.4 Übersicht über das Buch	4
1.2.5 Die Webseite zum Buch	5
1.3 Einführung in den 3D-Druck	5
1.3.1 Investitionsgrößenordnungen	5
1.3.2 Industrieller 3D-Druck versus Maker-Szene	6
1.3.3 Trend: was zu erwarten ist (und was nicht)	7
1.3.4 Prozessbeschreibung: So entsteht ein 3D-Druck	10
1.3.5 Zur Terminologie	11
2 3D-Druck-Technologien	15
2.1 Stereolithografie	19
2.1.1 Vorzüge	20
2.1.2 Limitierungen	21
2.2 Jetted-Photopolymer-Technologie	21
2.3 Lasersintering	23
2.3.1 Vorzüge	24
2.3.2 Limitierungen	25
2.4 Fused Deposition Modeling (FDM)	25
2.5 Single Jet Inkjet	27
2.5.1 Thermal Phase Inkjets (Inkjet-Geräte mit thermodynamischem Verfahren)	27
2.5.2 Vorzüge	27
2.5.3 Limitierungen	28
2.5.4 Photopolymer Phase Inkjets (Inkjet-Geräte mit Photopolymer-dynamischem Verfahren)	28

2.5.5	Vorzüge	28
2.5.6	Limitierungen	29
2.6	Dreidimensionaler Druck 3D-Printing	29
2.6.1	Indirekter 3D-Druck am Beispiel ExOne	30
2.7	Laser Powder Forming	31
2.7.1	Vorzüge	32
2.7.2	Limitierungen	32
2.7.3	Fazit	33
2.8	Laminated Object Manufacturing	33
2.8.1	Vorzüge	35
2.8.2	Limitierungen	35
3	Materialien und Anwendungen	37
3.1	Die gängigsten Materialien	39
3.1.1	Metallteile	39
3.1.2	Keramikteile	39
3.1.3	Plastikteile	39
3.1.4	Einsatz poröser Materialien	40
3.2	Anwendungsfelder heute	42
3.2.1	Werkzeugbau im produzierenden Gewerbe	42
3.2.2	Vorrichtungs- und verwandter Fertigungsbau	43
3.2.3	Stromerzeugung	44
3.2.4	Robotik und 3D-Druck	44
3.2.5	Wärmeaustauscher und Klimaregler	45
3.2.6	Luft- und Raumfahrt	45
3.2.7	Kraftfahrzeugbau	45
3.2.8	Schiffsbau	46
3.2.9	Architektur und Gebäudebau	47
3.2.10	Chemische Anwendungen	49
3.2.11	Instrumentenbau für die Chemie	49
3.2.12	Werkzeugbau (Rapid Tooling)	50
3.2.13	Medizinische Applikationen	51
3.2.14	Medizinische Geräte	51
3.2.15	Phantomkörper-Bildgebung, anatomische Puppen und medizinische Modelle	52
3.2.16	Kunst	52
3.2.17	Schmuck	53
3.2.18	Design	53
3.2.19	Möbelstücke	53
3.2.20	Textilien	54

4 Ausgewählte Fallbeispiele	57
4.1 Gewichtsoptimierte Bauteile für Luft und Raumfahrt	57
4.2 Kleinserien aus einem „endkundentauglichen“ 3D-Drucker	62
4.3 Prototypen-Druck von Schuhen	63
4.4 Designerstuhl ausgedruckt: Gussformen aus dem 3D-Drucker	67
4.5 3D-Druck von Architekturmodellen	69
4.6 Serienfertigung von Flugzeugturbinen-Komponenten	72
4.7 Kleinserien von Fertigungsautomaten-Teilen aus dem industriellen 3D-Drucker	75
4.8 3D-gedruckter Fahrradrahmen aus Großbritannien	78
4.9 Industrielle Einzelanfertigung individueller iPhone-Cover	83
4.10 Feuerwehr-Modellautos aus dem 3D-Drucker	85
4.11 Gürtelschale-Prototypen für ein mobiles Notruf- und Ortungssystem	91
4.12 Beschleunigte Entwicklung von Fahrzeugkomponenten durch 3D-Druck	93
5 Ausgewählte Unternehmen vorgestellt	97
5.1 SLM Solutions GmbH	98
5.2 EOS GmbH Electro Optical Systems	100
5.3 Concept Laser GmbH	102
5.4 voxeljet AG	104
5.5 Alphaform AG	105
5.6 4D Concepts GmbH	107
5.7 Materialise GmbH	109
5.8 Alphacam GmbH	110
5.9 iGo3D GmbH 3D-Printers	111
5.10 HIC-InnoTec GmbH	112
5.11 KISTERS AG	113
5.12 Schultheiss und Rapid Shape	114
5.13 PTZ-Prototypenzentrum GmbH	115

1.1 Wie es zu diesem Buch kam

„Schau mal, ich hab da was Tolles entdeckt!“, sagte mein Mitgesellschafter, Eliser Wiedemann, und rief mich zu seinem Computer. Dort zeigte er mir die für mich ersten Berichte und Videos von der „neuen Erfindung von 3D-Druckern“, die zudem noch zu erschwinglichen Preisen verfügbar sein sollten.

Dies war unser Einstieg in das Thema 3D-Druck. Nach ersten Recherchen finanzierten wir recht begeistert ein Crowdfunding-Projekt, das einen kompakten 3D-Drucker bauen will. Somit betraten wir gleich in zweierlei Hinsicht neues Terrain: 3D-Druck und Crowdfunding. Und wie das bei Neueinstiegen so ist: Das war zunächst einmal eine herbe Enttäuschung. Mit vielen Monaten Verspätung sollte der 3D-Drucker endlich Weihnachten 2012 eintreffen – das hatte der Hersteller versprochen und er verkaufte fleißig Verbrauchsmaterial und weitere Upgrades. Jetzt ist es bald Weihnachten 2014 und ich wäre sehr überrascht, wenn der Drucker käme.

Doch der erste Schritt war gemacht. Unsere ersten „eigenen“ 3D-Drucker waren dann der „Fabbster“, den wir gleich vor Ort beim Hersteller kauften, und der RepRap-Drucker „Prusa“. Beide verschlangen noch enorm viel Zeit beim Zusammenbau, aber irgendwann liefen sie und produzierten rudimentäre Kunststoff-Gegenstände, die uns enorm begeisterten.

Meine so gesammelte Erfahrung reichte aus für einen sehr gut angenommenen Vortrag mit Live-Demo beim American German Business Club e. V. in München. Bei dieser und anderen Gelegenheiten konnte ich kontinuierlich beobachten, wie die Faszination 3D-Druck jeden ergriff, der davon zum ersten Mal hörte und spontan anfing, sich auszumalen, was mit solch einem Gerät alles gemacht werden könnte ...

Eines meiner weiteren Schlüsselerlebnisse war das erste Münchener 3D-Printing Cluster-Treffen, das das Center for Innovation and Business Creation at TUM (Technische

Universität München) und das Strascheg Center for Entrepreneurship in Zusammenarbeit mit der Firma EOS organisierten. Dort wurde mir erstmals so richtig klar, dass 3D-Druck keine allzu neue Erfindung ist, sondern seit bald 30 Jahren in vielen Industriebereichen eine wichtige Rolle spielt. Noch vor Beginn der Veranstaltung bewies ich, „wie gut“ ich mich in der Branche auskannte: Ich sprach den ersten Herrn, der neben mir stand, ganz getreu des Networking-Gedankens mit meiner Frage an: „Und, was haben Sie mit 3D-Druck zu tun?“. Er stutzte kurz, dann antwortete er höflich: „Ich bin Dr. Langer, der EOS-Geschäftsführer. Bitte entschuldigen Sie mich, ich muss jetzt zu meinem Vortrag ...“. Richtig. Der Hauptredner!

Na gut. Weitere Kontakte brachten mich zu verschiedenen größeren und kleineren Firmen und Workshop-Veranstaltungen – und auch zur Maker Community.

Bald beschäftigten wir – die Core Consulting GmbH – uns schon seit über zwei Jahren mit dem Thema 3D-Druck intensiv, aber die zündende Einstiegsidée war noch nicht gefunden. Die Idee, einen 3D-Druck-Laden oder Copy-Shop in München zu eröffnen, haben wir nach zahlreichen Kalkulationen vertagt. Die dazu organisierte Ladenfläche nahe dem Hauptbahnhof München stand fast ein Jahr lang leer.

Recherchieren, Kontakte knüpfen, Ideen sammeln, Wissen dokumentieren – vielleicht ein Buch schreiben? Wenn wir schon so viele Informationen zusammentragen ... die Idee des 3D-Druck-Kompendiums war geboren.

Sofort machten wir (das Team der Core Consulting GmbH) uns ans Werk. Wir recherchierten, kontaktierten die Unternehmen und erstellten interaktive Grafiken und Videos. In Rekordzeit und rechtzeitig, genau auf den Tag, gelang es uns, die erste Ausgabe des 3D-Druck-Kompendiums für die Frankfurter EuroMold-Messe im Dezember 2013 als interaktives E-Book für iOS und Amazon Kindle fertigzustellen und auf der Messe vorzustellen.

Die Resonanz, insbesondere der 3D-Druck-Unternehmen, war sehr gut. Allerdings mussten wir feststellen, dass die Technologiehürde bei einem rein digitalen Produktum einiges höher war als erwartet. Viele Interessenten konnten das Buch schlichtweg nicht kaufen, da sie das dazu notwendige Lesegerät nicht besaßen. Also entschloss ich mich dazu, die zweite Auflage des 3D-Druck-Kompendiums über einen „2D-Druck-Verlag“ zu veröffentlichen; über einen guten Freund gelang der Kontakt zu einem starken Verlagspartner.

Das grundsätzlich überarbeitete Werk liegt Ihnen nun vor. Ich hoffe, dass es Ihnen hilft, Chancen für sich und die Zukunft Ihrer Unternehmen zu identifizieren und zu realisieren. Und ich wünsche mir, dass uns bereits etablierte und neue Unternehmen darin unterstützen, dieses Kompendium zum grundlegenden Nachschlagewerk für Unternehmen und Berater der 3D-Druck-Branche in Deutschland auszubauen.

1.2 Das Kompendium

1.2.1 Die Idee

Die Grundidee hinter dem 3D-Druck-Kompendium ist es, ein Informationswerk zu schaffen, das die 3D-Technologie im Allgemeinen und die 3D-Druck-Landschaft in Deutschland im Speziellen beleuchtet. Das Kompendium soll einen Beitrag zur Förderung von Unternehmertum und 3D-Druck-Unternehmen in Deutschland leisten.

Wenngleich die größten Unternehmen der Branche in den USA angesiedelt sind und es auch ein US-Amerikaner ist, der als Erfinder¹ des 3D-Druck angesehen wird, so hat der Standort Deutschland einiges im Bereich 3D-Druck zu bieten. Insbesondere die Selektiven Lasersinter/Selektiven Laserschmelzen-Verfahren sind in Deutschland gut etabliert: Drei der vier bekanntesten Hersteller von 3D-Druckern aus diesem Bereich stammen aus Deutschland². Diese Spezialisierung macht durchaus Sinn, denn die Verfahren Stereolithographie und Selektives Lasersinter beziehungsweise Selektives Laserschmelzen haben recht unterschiedliche Stärken und sind in den meisten Fällen keine Konkurrenzprodukte. Hinzu kommt auch, dass die Patente zu den Verfahren entsprechend verteilt sind. In gewisser Hinsicht könnte man sagen, dass sich die Hersteller von 3D-Druckern den Markt ein Stück weit aufgeteilt haben: Die USA dominiert die Stereolithographie, Deutschland das Lasersintern und Laserschmelzen.

Ein 3D-Druck-Kompendium für Deutschland also – ist das nicht ein bisschen idealistisch? Vielleicht. Aber meine Erfahrung als aktiver Unternehmer seit knapp zehn Jahren hat mir immer wieder gezeigt, dass es zielführend ist, wenn irgend möglich Partner in der Nähe zu suchen – Partner, die die gleiche Sprache sprechen und einen ähnlichen kulturellen Hintergrund teilen. An dieser Stelle möchte ich anmerken, dass ich durchaus Auslandserfahrung habe. Vielleicht sehe ich mich gerade deshalb erst mal in meiner direkten Umgebung um ...

1.2.2 Feedback und Mitmachen

Der 3D-Druck erfährt, katalysiert durch das öffentliche Interesse, einen erstaunlichen Entwicklungsschub. Entsprechend schnell entstehen neue, interessante Möglichkeiten und die Verbreitung der 3D-Druck-Technologie schreitet voran.

Das 3D-Druck-Kompendium soll weiter wachsen und sich (mit) der Zeit anpassen – egal ob online (mehr dazu in Abschn. 1.2.5) oder in einer weiteren Ausgabe. Daher freue ich mich über Ihre Anregungen und Ihr Feedback.

¹ Durch seine Patentanmeldung zu Stereolithografie aus dem Jahre 1986 gilt Chuck Hull als Erfinder des 3D-Druck-Verfahrens.

² Deutsche 3D-Druck-Hersteller: SLM Solutions Group, EOS GmbH, Concept Laser GmbH.

Wenn Sie ein für dieses Buch interessantes Fallbeispiel kennen oder Ihr Unternehmen vorstellen möchten, dann nehmen Sie bitte Kontakt mit mir auf.

Wenn Sie Themenwünsche haben oder als Gast-Autor einen Beitrag zum Buch leisten wollen, dann kontaktieren Sie mich bitte.

Und wenn Sie an der einen oder anderen Stelle anderer Ansicht sind oder gar einen Fehler entdecken, dann lassen Sie es mich bitte wissen.

Rückmeldungen zum 3D-Druck-Kompendium bitte an:

Richard Hagl

hagl@3d-druck-kompendium.de

1.2.3 Weiterführende 3D-Druck-Beratung

Wie Sie sich denken können, habe ich auf meiner „Reise durch den 3D-Druck“ Vieles erfahren und gesehen, das es nicht ins 3D-Druck-Kompendium geschafft hat. Insbesondere diverse Fehleinschätzungen, -annahmen und -versuche sind fast schon „zu peinlich“ um schwarz auf weiß verewigt zu werden. Und dann gibt es noch die benachbarten Themenfelder, die alleine ein eigenes Buch füllen könnten: Egal ob 3D-Scanning, die Zukunft der Maker-Szene oder rechtliche Aspekte von 3D-Druck – hier ist ebenfalls viel in Bewegung.

Wenn Sie sich also dazu entscheiden sollten, das Thema 3D-Druck für Ihre Unternehmung über die Grenzen des 3D-Druck-Kompendiums hinaus zu vertiefen, dann lade ich Sie ein, mich bezüglich individueller 3D-Druck-Beratung zu kontaktieren.

3 D-Druck-Beratung

Core Consulting GmbH

Schluderstraße 10

80634 München

hagl@coreconsulting.de

www.coreconsulting.de

1.2.4 Übersicht über das Buch

Das 3D-Druck-Kompendium ist wie folgt strukturiert:

Zuerst finden Sie allgemeine Informationen zum 3D-Druck-Kompendium. Die meisten davon haben Sie wahrscheinlich bereits gelesen. Danach habe ich ein paar allgemeine, wissenswerte Themen zum 3D-Druck zusammengetragen und mich der 3D-Druck-Terminologie gewidmet.

Der zweite Abschnitt befasst sich mit den 3D-Druck-**Technologien**. Die gängigsten Verfahren werden erklärt und illustriert.

Ein eigenes Kapitel wird dem Thema Materialien zugestanden. Grund dafür ist, dass der Einsatz von 3D-Druck mit den Möglichkeiten der verwendeten Materialien steht und fällt. Und: die größten Entwicklungssprünge erwarte ich im Bereich 3D-Druck-Materialien.

Die letzten beiden Kapitel bieten konkrete Praxisbeispiele und Unternehmens-Vorstellungen.

1.2.5 Die Webseite zum Buch

Die Nachteile eines in Druck veröffentlichten Buches sind der große Erstellungsaufwand und die relativ langen Veröffentlichungszeiten. Und die Vorteile eines in Druck veröffentlichten Buches sind der große Erstellungsaufwand und die relativ langen Veröffentlichungszeiten. Na gut, das kann man sehen wie man will.

Deshalb haben wir eine Webseite zum Buch für Sie eingerichtet, auf der Sie aktuelle und weiterführende Informationen zum 3D-Druck-Kompendium finden. Beispielsweise finden Sie dort eine Bildergalerie mit allen Bildern des Buches in Farbe sowie Hinweise auf Videos zu den Buchbeiträgen. Weitere innovative Funktionen sind geplant. Schauen Sie einfach mal rein!

Weitere Informationen

Weiterführende Informationen zum 3D-Druck-Kompendium finden Sie online unter:

www.3d-druck-kompendium.de

1.3 Einführung in den 3D-Druck

1.3.1 Investitionsgrößenordnungen

Was kostet ein 3D-Drucker? Diese Frage lässt sich pauschal genauso gut beantworten wie die Frage: „Was kostet ein Haus?“.

Wenn man den 3Doodler-Pen³ als 3D-Drucker gelten lässt, dann gibt es 3D-Drucker für deutlich unter 100 €. Eine professionelle Laserstrahlschmelzanlage mit großem Bau Raum kostet gut und gerne mal 1,3 Mio. €. Hinzu kommen dann noch gegebenenfalls die Kosten für Pulverzufuhranlagen, Pulveraufbereitungssysteme und natürlich Personal,

³ Der 3Doodler ist eine Art Stift, der geschmolzenen Kunststoff abgibt. Mit diesem Stift kann man „dreidimensional zeichnen“ – wenn man es kann. Weitere Informationen unter the3doodler.com

denn das Betreiben von solchen High-End-Geräten ist etwas für Experten – alleine der Einsatz der Hochleistungs-Laser (Größenordnung ein Kilowatt) ist nicht ungefährlich und gesetzlich geregelt.

Zur Orientierung kann man meiner Ansicht nach 3D-Drucker in etwa wie folgt einordnen:

a. Geräte „um die 1.000 €“ (100 bis 5.000 €):

Hierunter fallen die meisten endverbrauchertauglichen FDM/FFF-Drucker⁴. Je nach Ausreifungsgrad des Gerätes bekommt man somit einen einfachen 3D-Drucker, der rudimentäre Plastikteile produzieren kann.

b. Geräte „im fünfstelligen Bereich“:

Bereits seit Jahren industriell eingesetzte, technisch gut ausgereifte FDM/FFF-Drucker gibt es meiner Einschätzung nach für etwa 15.000 €. Auch Stereolithographie-Geräte fangen traditionell in dieser Größenordnung an. Der größte Preisverfall lässt sich allerdings in diesem Segment feststellen. Der in Abschn. 4.2 erwähnte Drucker liegt bei nur 2000 €, die kleinsten Stereolithographie-Geräte gibt es bereits ab 4000 € netto.

c. Investitionsgüter:

Wer eine Lasersinter- oder Laserschmelzanlage betreiben möchte, sieht sich einer echten Investition gegenüber. Mir sind keine Anlagen unter 100.000 € bekannt, wie oben erwähnt, kann je nach Bedarf auch die Millionengrenze überschritten werden.

Außerhalb der am Markt erhältlichen „Standard-3D-Drucker“ wird an zahlreichen Sonderprojekten gearbeitet: Egal, ob 3D-Drucker für den Bau von Häusern oder Drucker, die Gebäude auf dem Mond drucken sollen – hier wage ich keinen Preisschätzungen.

1.3.2 Industrieller 3D-Druck versus Maker-Szene

Die „Maker-Szene“ hat den 3D-Druck in der Öffentlichkeit bekannt gemacht. Aber was ist diese Maker-Szene eigentlich? Und warum geschieht das jetzt, wenn es die Technologie doch schon seit Jahrzehnten gibt?

Die Maker-Szene ist das „Hipp-Wort“, mit dem sich seit ein paar Jahren eine technisch-begeisterte Sub-Kultur bezeichnet. Dabei handelt es sich um einen „Do-It-Yourself-Ansatz“, um Heimwerken also. Begeisterte Bastler heimwerken und erfinden seit Jahrzehnten – es handelt sich also um ein längst bestehendes Massenphänomen, wie die zahlreichen Baumarkt- und Elektronikketten beweisen.

Das „Re-Branding“ der Idee als „Maker“ mit technischem Fokus erweist sich allerdings als recht erfolgreich, da mit diesem neuen Image insbesondere junge Leute angesprochen werden. Laut Wikipedia⁵ trifft sich die Szene bereits seit 2006 regelmäßig, in 2012 soll

⁴ Das FDM/FFF-Verfahren ist in Abschn. 2.4 beschrieben.

⁵ en.wikipedia.org/wiki/Maker_culture

das „Maker Faire“⁶ in Kalifornien circa 120.000 Besucher angezogen haben. Auch in Deutschland ist die Community aktiv. Erwähnt sei noch, dass das Thema 3D-Druck bei den Makern nur ein Thema von vielen ist: Quadrokopter-Bau, Heim-Elektronik, Computer und Kunst gehören ebenso dazu wie viele weitere Interessensgebiete.

Einen Gegenpol zur 3D-Druck-Maker-Szene bildet der wesentlich ältere, industrielle 3D-Druck. Dahinter stehen etablierte, nüchterne Unternehmen mit teilweise mehreren Hundertmillionen Euro Umsatz. Immer wieder konnte ich (leider) gewisse Anfeindungen von Makern gegen die etablierte Industrie wahrnehmen, fast ähnlich wie die antiautoritäre Einstellung der Teilnehmer des berühmten Homebrew Computer Clubs⁷, die später teilweise selbst Großkonzerne gründen sollten.

Die Initialzündung für eine engagierte 3D-Druck-Maker-Szene war, dass vor ein paar Jahren erste Patente zum FDM-3D-Druck-Verfahren ausließen und es plötzlich möglich wurde, kostengünstige, endverbrauchertaugliche 3D-Drucker herzustellen. Das Überschwappen der 3D-Druck-Technologie auf den Verbrauchermarkt resultierte dann in dem Medien-Hype der letzten Jahre.

Interessant ist, dass vor allem die etablierte 3D-Druck-Industrie von diesem Phänomen profitiert hat, denn die mediale Präsenz machte schlagartig viele Unternehmen auf die Möglichkeiten des 3D-Drucks aufmerksam. Das Ergebnis: extreme Wachstumsraten bei 3D-Druck-Großunternehmen und einige Börsengänge.

Welchen Effekt das aktuelle Auslaufen von weiteren 3D-Druck-Patenten haben wird, ist schwer einzuschätzen und sicherlich technologieabhängig unterschiedlich: Stereolithographie-Geräte werden zunehmend günstiger und somit endverbrauchertauglich werden, bei Lasersinter-Anlagen wiederum bezweifle ich dies (mehr dazu in Abschn. 1.3.3).

Spannend zu beobachten ist, dass die Maker-Entwicklung durchaus das Potenzial hat, „den großen“ Business abzugraben. Einfache Bauteile wie beispielsweise eine Handy-Fahrradhalterung oder einfache Prototypen können und werden nun auch ohne die etablierten Unternehmen produziert. Einens von zahlreichen Beispielen hierfür finden Sie in Abschn. 4.2.

1.3.3 Trend: was zu erwarten ist (und was nicht)

Mein Vater hat einmal scherhaft gesagt: „Zukunftsprognosen sollte man am besten abgeben für einen Zeitabschnitt, den man selbst nicht mehr erlebt.“ Niemand kann in die Zukunft sehen. Und die wirklichen Experten wollen und dürfen oftmals nicht sagen, woran sie gerade arbeiten. Ich traue mich dennoch, ein paar Einschätzungen vorzunehmen:

- ▶ Prognose: Der Home-3D-Drucker, der wie eine Mikrowelle zu Hause steht, wird nicht so bald kommen.

⁶ Maker Faire: die Maker Messe. Weiter Informationen unter makerfaire.com

⁷ Der Homebrew Computer Club war ein Verein von Computer-Hobbyisten. Die wohl bekanntesten Mitglieder waren die beiden Apple-Gründer Steve Wozniak und Steve Jobs.

Der Gedanke ist natürlich verlockend: Ich habe eine kleines Gerät zu Hause – vielleicht so groß wie eine Mikrowelle –, das mir nach Bedarf Gegenstände nach Wunsch ausdrückt. Egal, ob es ein Ersatzteil, der fehlende Lego-Stein oder noch eine weitere Gabel für einen zusätzlichen Gast ist: Ein paar Gesten auf dem Tablet-Computer und kurz darauf liegt der gewünschte Gegenstand bereit. Und das Online-Shopping würde eine ganz neue Dimension erfahren.

Dass dies innerhalb der nächsten 20 Jahre möglich sein wird, bezweifle ich sehr. Die heimtaugliche 3D-Druck-Technologie ist zu limitiert in ihren Möglichkeiten, und das Betreiben eines 3D-Druckers ist „voller technischer Tücken“. Korrekter Aufbau, Kalibrierung und vorsichtiger, zeitintensiver Umgang mit den Geräten sind die Realität.

Eine weitere Problematik, die nicht zu unterschätzen ist, ist die Copyright-Frage. Was würde die Firma Lego davon halten, wenn der Endkunde die beliebten Bausteine selbst produziert? Sicherlich würden industrielle Interessengemeinschaften analog zur Recording Industry Association of America (RIAA)⁸ unter den Endverbrauchern Angst und Schrecken verbreiten und Online-Portale in den Ruin klagen.

Fazit: Ich denke, der 3D-Drucker zu Hause ist erst einmal begeisterten Bastlern vorbehalten.

► Prognose: Der industrielle 3D-Druck bewegt sich Richtung Serie.

Der Ursprung der 3D-Druck-Technologie ist das Rapid Prototyping, also das Erstellen von Vorab- oder Versuchsmodellen. In den letzten Jahrzehnten konnten die 3D-Druck-Verfahren zunehmend weiterentwickelt werden. Die Konsequenz: Die mittels 3D-Druck produzierten Gegenstände werden kontinuierlich kostengünstiger und erfüllen zunehmend die üblichen Kundenansprüche.

Hinzu kommt der Trend zur Individualisierung. Die berühmte Werbekampagne von Apple: „think different“ („denk anders“) wusste bereits 1997 dieses Bedürfnis bei den Endkunden erfolgreich anzusprechen – ungeachtet der Tatsache, dass Apple-Produkte eigentlich alles andere als individuell sind. Die 3D-Druck-Technologie ist prädestiniert für die Produktion in Losgröße Eins, da in dem Drucker sowieso jedes Teil einzeln aufgebaut wird.

Für die Hersteller von 3D-Druckern ist der nächste logische Strategie-Schritt ebenfalls die Serie. Von einem Prototyp werden stets kleine Stückzahlen benötigt. Sollten 3D-Drucker jedoch in Serienproduktionen zum Einsatz kommen, wird dies auch direkt zu mehr verkauften 3D-Druckern führen.

► Prognose: Die Revolution wird langsam sein.

⁸ Die RIAA ist eine 1952 gegründete Interessengemeinschaft für Unternehmen aus der Musikindustrie und war maßgeblich daran beteiligt, dass die Musiktauschbörse „Napster“ ihr ursprüngliches Geschäftsmodell einstellen musste.

Die von den Medien erfolgreich propagierte dritte industrielle Revolution wird meiner Einschätzung nach nicht „über Nacht“ stattfinden.

Wenn eine neue Technologie in einen bestehenden Prozess eingeführt werden soll, muss sie erst einmal zahlreiche Zertifizierungsprozesse erfolgreich durchlaufen. Das ist in der Regel ein langwieriger und kostenintensiver Prozess.

In der Raumfahrt will beispielsweise der Betreiber der Rakete, die Satelliten ins All befördert, sichergehen, dass die transportierte Ladung nicht „auseinanderfällt“ und die restliche Ladung oder gar die Rakete selbst gefährdet. Auch im Personentransport (Flugzeug, Bus, Bahn, Kfz) oder beim Einsatz im menschlichen Körper, also bei medizinischen Anwendungen, sind entsprechende Auflagen zu erfüllen.

Unterm Strich kann man zwar damit rechnen, dass der 3D-Druck zunehmend Einzug hält in verschiedene Branchen und Industriezweige, aber von einer schlagartigen Veränderung von Industrien ist in den meisten Fällen vorerst nicht auszugehen.

- ▶ Prognose: Das Spritzgussverfahren wird nicht so bald abgelöst werden.

In zahlreichen Diskussionen hörte ich, wie 3D-Druck als die Ablöse-Technologie von Spritzguss gehandelt wurde. Sogar Beratungsunternehmen zu Supply-Chain-Management recherchieren, ob ihr Geschäft gefährdet ist, wenn ihre Kunden nicht mehr von den etablierten Supply-Chains abhängen, sondern selbst vor Ort produzieren. Auf diversen Workshops zum Thema 3D-Druck waren auch Vertreter von Logistik-Dienstleistern anwesend, um zu überprüfen, ob ihr Geschäft gefährdet ist.

Eine Produktion vor Ort wäre aus der Perspektive von Globalisierungsgegnern und Umweltschützer sicherlich wünschenswert, aber wenn man die Möglichkeiten des Spritzgusses mit denen des 3D-Drucks vergleicht, stellt man fest, dass es viele Bauteile gibt, die noch nicht mit einem 3D-Drucker erstellt werden können. Dies ist der Fall, wenn die Wandstärken von Kunststoffteilen extrem dünn werden. Hinzu kommt noch, dass Spritzguss unschlagbar billig ist.

Fazit: 3D-Druck bewegt sich zwar in Richtung Serie, wird aber vorerst primär interessant für kleine Stückzahlen und komplexe – aber nicht zu filigrane – Produkte bleiben.

- ▶ Prognose: Lasersintering zu Hause wird nicht so bald (legal) möglich sein.

Verschiedene 3D-Druck-Verfahren bieten unterschiedliche Möglichkeiten. Beispielsweise können Metalle nicht im FDM/FFF- oder Stereolithographie-Verfahren verarbeitet werden. Eine Sinteranlage muss also her.

Um Metall mit Laser zu schmelzen, bedarf es eines Hochleistungslasers. Diese Laser-Klasse ist alles andere als endkundentauglich. Demnach – denke ich – kann man davon ausgehen, dass diese Art des 3D-Drucks nicht Einzug halten wird in private Haushalte. Das wiederum stellt eine grundsätzliche Limitierung in Bezug auf das dar, was Heimdrucker werden produzieren können.

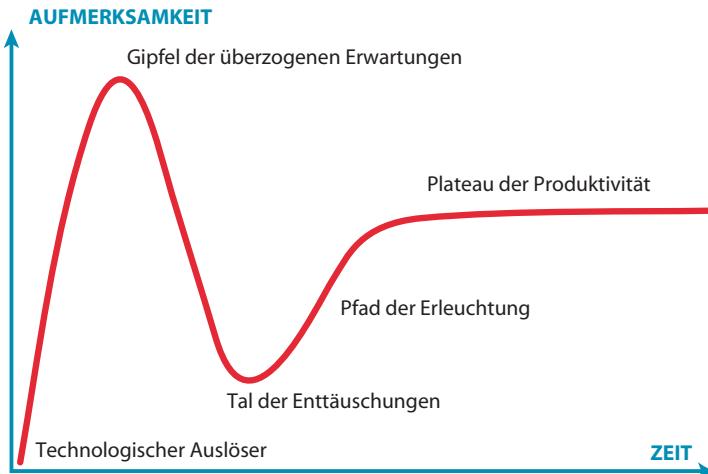


Abb. 1.1 Wo auf dem berühmten „Gartner Hype Zyklus“ befindet sich der 3D-Druck? (Quelle: Idotter. Lizenziert unter Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0-2.5-2.0-1.0 über Wikimedia Commons.)

1.3.4 Prozessbeschreibung: So entsteht ein 3D-Druck

Die Grundidee hinter 3D-Drucken ist denkbar einfach. Erst bei der praktischen Umsetzung treten bei den unterschiedlichen Verfahren diverse Herausforderungen auf. Was alle Verfahren gemeinsam haben, ist, dass sie ein Werkstück **schichtweise** aufbauen. Es wird also eine Lage Material auf die andere aufgetragen – quasi ein Drucker, der immer wieder dieselben Buchstaben auf dieselbe Stelle aufträgt, bis diese „nach oben wachsen“. Detaillierte Beschreibungen und Grafiken hierzu finden Sie in Kap. 2.

Von der Idee bis zum fertigen Produkt sind aber – neben dem 3D-Drucken – noch ein paar Zwischenschritte notwendig. Vgl. Abb. 1.2

Um den 3D-Drucker anzusteuern, bedarf es einer digitalen Datei, die quasi den Bauplan des zu erstellenden Objektes beinhaltet. Oftmals stellt die Beschaffung dieser Datei die erste große Hürde für den Unternehmer dar. Das Objekt muss meist von Experten am Computer modelliert werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das so erstellte 3D-Modell die speziellen Anforderungen des 3D-Druckers und Einsatzzweckes erfüllt.

Erst wenn die optimale 3D-Datei vorliegt, kann das Objekt an den 3D-Drucker geschickt werden. Je nach Technologie und Objekt kann auch das Betreiben des 3D-Druckers eine aufwendige Angelegenheit sein.

Wenn der 3D-Drucker das Produkt erstellt/gedruckt hat, folgt ein Nachbearbeitungsprozess. Auch dieser ist je nach Verfahren unterschiedlich komplex: Das fertige Objekt muss gereinigt werden, etwaige gedruckte Abstützungen müssen entfernt werden. Oftmals wird der gedruckte Gegenstand dann weiterverarbeitet, beispielsweise geschliffen und lackiert, oder es werden Einzelteile zusammengefügt.

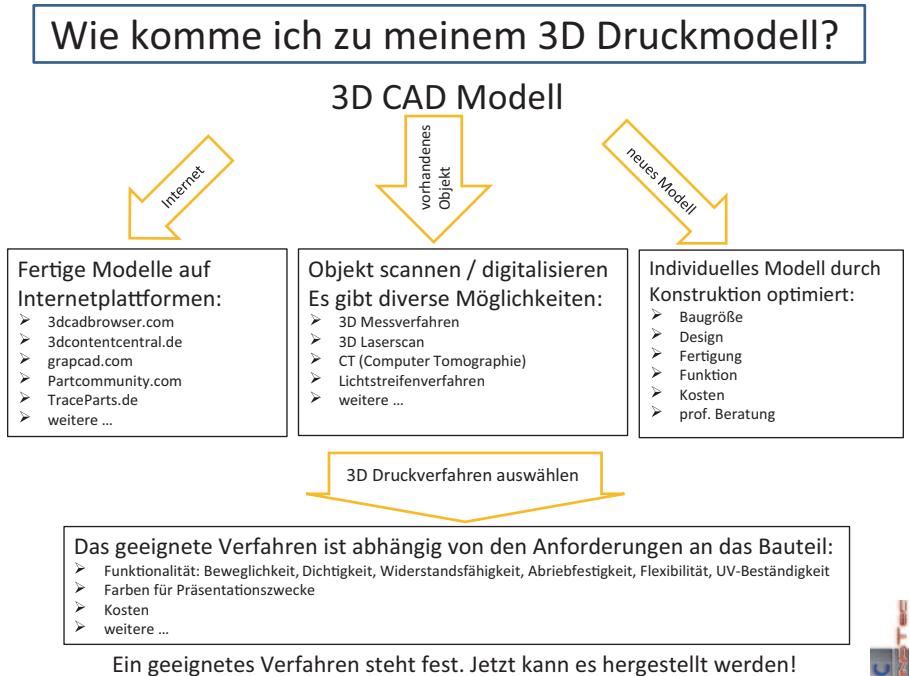


Abb. 1.2 3D-Druck-Workflow: von der Idee bis zum fertigen Produkt (Quelle: HIC-InnoTec GmbH)

1.3.5 Zur Terminologie

Alle Welt spricht vom 3D-Druck. Man muss sich nicht tief in das Thema einarbeiten, um schnell festzustellen, dass 3D-Druck nicht nur ein weitläufiger, sondern – im Spektrum unterschiedlicher technischer Auslegungen – ein mehrfach belegter Begriff sein kann. Dies ist insbesondere dann erkennbar, wenn Anwender bestimmter Technologien einen ganz konkreten Bedarf damit verknüpfen, für den es eine ebenso konkrete technische Verfahrensweise gibt.

Die klare Differenzierung der Begriffe sowie deren korrekte Zuordnung sind nicht nur für das bessere Verständnis, sondern auch für die optimale Nutzung der Technologie wichtig. Kunde und Anbieter sollen die gleiche Sprache sprechen.

Alles begann vor circa 25 Jahren mit dem sogenannten „Rapid Prototyping“ (d. h. „schnelle Fertigung eines Prototyps“). Der Begriff beschreibt recht gut, was man in der Anfangszeit mit dieser Technologie beabsichtigte.

Bei den ersten Druckgeräten handelte es sich um Prototypen, die allgemein akzeptable, also noch nicht perfekte Modelle von Endprodukten erzeugten. Da die Modelle material- und präzisionsbedingt den Anforderungen zur Endanwendung nicht genügten, blieb der Begriff „Prototyp“ (oder Muster) zunächst an ihnen haften.

Im Laufe der Technologieentwicklung wurden immer neue Lösungen gefunden, um die Detailtiefe und Präzision der erzeugten Modelle den höher werdenden technischen Ansprüchen anzupassen. Der Weg vom Reißbrett zur Endfertigung eines Produktes wurde kürzer und dadurch kostenrentabler.

Das war nicht der einzige Innovationssprung. Statt ein Bauteil durch Fräsen und Schneiden formen zu müssen, konnte man nun über das Senden von Computerdateien an einen Druckapparat selbst komplexeste Modelle relativ schnell herstellen.

„Relativ schnell“ bedeutete gegebenenfalls mehrere Tage, auch heute noch. Andererseits sind die konventionellen Methoden grundsätzlich wesentlich zeitaufwendiger, d. h. allein die durch das Rapid Prototyping erzielte Zeiteinsparung ist ein klarer Vorteil.

Der Begriff Rapid Prototyping hat seinen Ursprung in der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie teilweise in der Biochemie. Rapid Prototyping bezieht sich – streng genommen – auf die Herstellung von Prototypen und Modellen, und zwar als Vorläufer eines am Ende der Entwicklung herzustellenden Endproduktes (als Einzelfertigung und – in begrenztem Umfang – über Serienfertigung).

Rapid Prototyping wird oft als eine überbegriffliche Technologie verstanden, der eine Reihe von „Subtechnologien“ zugeordnet sind. Diese überbegriffliche Zuordnung ist der Ursprung so mancher Verwirrung. Vgl. Abb. 1.3

Zur Klarstellung: Rapid Prototyping, wie schon erwähnt, steht für ein eigenständiges Verfahren. Daneben reihen sich Rapid Tooling und Rapid Manufacturing – als weitere eigenständige Verfahren – ein.

Additive Fabrikationstechnologien – Terminologie im Überblick

Additive Fabrikationstechnologien im Überblick

Additive Fabrication (Additive Fertigung)

Additive Manufacturing (Additive Herstellung)

3D-Printing, 3DP (3D-Druck)

Rapid Prototyping ("Rapide" Prototypenfertigung)

Rapid Prototyping war ursprünglich die populärste Bezeichnung im gesamten Anwenderkreis. Für die Herstellung von Prototypen ist der Begriff "rapide" tatsächlich angemessen, da Prototypen schneller und kostengünstiger als je zuvor gefertigt werden können. Wozu Rapid Prototyping sich noch nicht eignet ist die Serienfertigung von Produkten.

Beispiele der geläufigsten Additiven Technologien:

Stereolithographie (SLA)

Fused Deposition Modeling (FDM) –
Modellierung durch
Schmelzabsetzung

Inkjet-basiertes System, bei dem statt Tinte ein Bindemittel zur Formung ausgesprührt wird
Dreidimensionaler Druck (3DP)

Selective Laser Sintering (SLS) –
Selektives Laser Sintern/Schmelzen
Laminated Object Manufacturing (LOM) – Objektherstellung durch Laminatbeschichtung

Anmerkung: Die meisten dieser Technologien können sowohl für den 3D-Druck, Rapid Manufacturing, Rapid Tooling und ähnliche Anwendungen eingesetzt werden.

Weniger gebräuchliche Synonyme für Additive Fabrication bzw. Rapid Prototyping

Solid Freeform Fabrication (SLA) –
Freiformflächige Fertigung von
Feststoff
Freeform Fabrication (FFF) –
Freiformflächige Fertigung

Desktop Manufacturing (DTM) –
Desktop Herstellung
Solid Imaging oder Solid Imager –
Bildgebung von Feststoff

Fabber, Fabbing
Layered Manufacturing oder
Layered Fabrication – Geschichtete Fertigung

Abb. 1.3 Übersicht über die 3D-Druck-Terminologie (Quelle: Core Consulting GmbH)

Stereolithografie (Ist-Bezeichnung)

Als Schirmbegriff für die unten dargestellten Verfahren ist die Bezeichnung eher als umgangssprachlich zu verstehen, da es konkrete Differenzierungen gibt.

3D-Drucker / 3D-Druck

Systeme der billigeren Preiskategorie Synonyme:

Three-dimensional printers / printing – 3D-Drucker

Concept Modelers oder Concept

Modeling - Konzeptmodellierung

Rapid Tooling**Direct Tooling**

Technologien, die ohne Vorlage oder Muster eingesetzt werden.

Indirect Tooling

Technologien, die als Teil einer Fertigungskette Rapid Prototyping Modellierungsbausteine enthalten.

Einige weniger bekannte Technologien werden häufig unter Rapid Tooling subsumiert, z.B.:

Laser Powder Forming Technologies
Direct Material Deposition (DMD)
Electron Beam Melting (EBM)
Selective Laser Melting (SLM)

Rapid Manufacturing

Sehr teure Preisklasse.

Synonyme:

Additive Manufacturing bzw. Additive Fabrication – Additive Fertigung/Herstellung

Mass Customization Maßfertigung in Serie

Toolless manufacturing – Werkzeuglose Herstellung

Direct Fabrication bzw. Direct Manufacturing – Direkte Herstellung

Direct Digital Manufacturing (DDM) bzw. Digital Fabrication – Digitalherstellung

Advanced Digital Manufacturing (ADM) – Fortgeschrittene Digitalherstellung

Abb. 1.3 (Forsetzung)

Der Markt des Additive Manufacturing setzt sich aus einer Mischung von Systemen, Materialien und Dienstleistungen zusammen.

- Die „Systeme“ stehen für die Hard- und Softwarekomponenten.
- Die „Materialien“ beziehen sich auf Verbrauchsmaterial, das in der Konstruktion angewendet wird. Die Formgebung wird in der Regel spezifischen Technologien zugeordnet und entstammt oftmals Eigenentwicklungen.
- Unter „Dienstleistungen“ versteht man die weltweit inzwischen mehr als 1000 umsatzgenerierenden Dienstleistungsstandorte, die Wartungsverträge bedienen, Anwendungstrainings durchführen und – vorwiegend als Systemleistung von Anbietern – produktspezifische Beratung anbieten.

Die Systeme werden an verschiedene, zahlreiche Industriegruppen verkauft. Während das Geschäft seinen Ursprung in den USA hat, findet immer mehr Anbieteraktivität in Europa und Asien statt. Die größte Einkäufergruppe stammt nach wie vor aus den Industriebereichen Automobil, Luft- und Raumfahrt, Verbraucherelektronik und Büromaschinenbau.

Inzwischen wurden die Applikationen unter anderem auf folgende Segmente erweitert: Spielzeug, Schmuck, medizinische Anwendungen und eine breite Palette an Konsumgütern. Viele kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) befassen sich nachweislich vermehrt mit den Technologien, da die Vorteile des 3D-Drucks immer besser verstanden werden und der Durchschnittspreis für Geräte durch den Wettbewerb ständig sinkt.

Es gibt ausgeprägte Trends im Business-to-Business(B2B)- und Technologiebereich, die den Markt antreiben.

Auf der B2B-Seite steht Folgendes im Vordergrund:

- Der Marktdruck zwingt zur Beschleunigung der Zeit zwischen Produktdesign, -entwicklung und -herstellung bis zur Markteinführung.
- Man muss sich mit immer kürzeren Produkt-Lebenszyklen auseinandersetzen.
- Man muss in der Lage sein, Reorganisation entlang funktionsübergreifenden Produktlinien zu meistern.
- Man muss bei der Globalisierung mithalten können.

Bei den Technologietrends stehen folgende Entwicklungen im Vordergrund:

- Enorme Entlastung der EDV-Verarbeitungsleistung.
- Die Einführung kostengünstiger 3D-Computer-Aided-Design(CAD)-Applikationen.
- Das Wachstum der Kommunikationsvernetzung.

Diese Trends verlangen von Designern und Konstruktionsingenieuren neue Wege, um Kosten und Dauer der Produkteinführungsprozesse zu straffen und im Rahmen zu halten.

Die Trends machen außerdem die Verbesserung der Kommunikationskanäle mit anderen Abteilungen und Zulieferern notwendig. Hierbei liegt die Herausforderung vor allem in einer optimalen globalen kommunikativen Vernetzung von unternehmerischen Produktions- und Serviceeinheiten. Primäres Ziel ist die Einführung wettbewerbsfähiger, qualitativ hochwertiger Produkte und deren schnelle Verfügbarkeit.

Ein zunehmender und an Wichtigkeit gewinnender Antreiber im Markt ist der Trend, Produkte in kleinlängigen und individualisierten Ausführungen herzustellen. Vgl. Abb. 2.1

Abb. 2.1 Übersicht über 3D-Druck-Technologien (Quelle: Core Consulting GmbH)

Fertigung spezieller Werkzeugformteile;	Fertigung von Formmasern für Urethan- und Silikon-Kautschuk (RTV) Formarbeit	Fertigung von belastbaren Werkstücken aus reinem technischen Kunststoff;	Fertigung von Modellen für Architektur und Landschaftsarchitektur und für Vermarktungszwecke eingesetzt; gestaltung;
Fertigung von Formmasern für Spritzgießverfahren;	Fertigung von Formmodellen für den Feinspritzguss	Fertigung von Formmodellen für den Feinspritzguss	Rapid Manufacturing von kleinen, detail-reichen Werkstücken;
Fertigung von Formmasern für Urethan- und Silikon-Kautschuk (RTV) Formarbeit			Fertigung farbiger Modelle aus dem industriellen Design, insbesondere Konsumgüter und Verpackungsmaterial;
Materialeinsatz und -eigenschaften	Acrylstoffe (mit breiter Auswahl);	Acrylstoffe (mit begrenzter Auswahl);	Fertigung von Formmodellen für den Feinspritzguss; Rohlingen
	klarsichtig und zäh;	ist elastomerisch (flexibel und biegsam)	Herstellung spezialisierten Bauteile;
			Fertigung von Formmodellen für den Feinspritzguss Acrylnitril-Butadien-Syrol (ABS); Verbundener Gipsmörtel, oder Gipsgemische;
			Polykarbonate (PC), d.h. Kunststoffe aus der Gruppe der synthetischen Polymere und der Familie der Polyester;
			Polyphenylsulfon (PPSU), ein amorpher Kunststoff;
			Einsatz bei Feinguss und direktem Guss ist elastomerisch (flexibel und biegsam)
			Elastomere, d.h. formfeste, aber elastiisch verformbare Kunststoffe
			Stahl und Edelstahl-Legierungen;
			Bronzeliegierungen;
			Kobaldchrom-Legierungen;
			Titan

Abb. 2.1 (Forsetzung)

2.1 Stereolithografie

Eine durch Hebemotorik bewegliche Konstruktionsbühne wird in der Initialphase knapp unter die Oberfläche einer mit flüssigem photopolymerem Kunstharz gefüllten Wanne positioniert.

Wenn das Material mit dem richtigen Lichtspektrum in Berührung kommt, härtet der exponierte Teil augenblicklich aus. Für die meisten photopolymeren Materialien sind ultraviolette Lichtquellen erforderlich. Inzwischen werden Kunstharze angeboten, die man auch mit sichtbarem Licht verarbeiten kann.

In der Regel sind stereolithografische Systeme abgedichtet, um den Austritt von Harzdämpfen zu verhindern. Die Dämpfe sind gegebenenfalls gesundheitsschädlich, verursachen beim Freiwerden aber mindestens einen starken Harzgeruch.

Ein Laserstrahl wird über die Oberfläche des flüssigen Photopolymers geführt, um die Geometrie des Querprofils „abzutasten“. Bei diesem Prozess erhärtet das Harz an den vom Laserstrahl berührten Stellen. Der Laserstrahl bewegt sich entlang der X-Y-Achsen über ein Scanner-System.

Der Laserstrahl wird über ein Spiegelsystem navigiert, das mittels starker Minimotoren einen blitzschnellen und akkurate Ablauf beschreibt. Die Motoren werden über Informationen von den CAD-Daten gesteuert, die das entsprechende Profil vorgeben.

Das genaue Muster der Laserstrahlspur ist eine Kombination der basisgeometrischen Daten aus dem CAD-Programm sowie aus zusätzlichen Informationen, die von der Software des Druckapparates stammen, um die Präzision des hergestellten Objektes zu optimieren. Dadurch wird auch ein Ausgleich für mögliche Fehler geschaffen, die beispielsweise durch plötzliches Schrumpfen des aufbereiteten Materials entstehen können.

In die Optimierung dieser Auftragungstechnologie wurde in den letzten Jahren viel Entwicklungsarbeit investiert. Man nennt den Prozess auch „Build Style“ („Baustilverfahren“).

Einzelne Hersteller liefern markeneigene Bauausführungsverfahren, die für ihre jeweiligen Anlagen und spezifischen Materialien optimiert wurden.

Nachdem eine Schicht komplett „abgetastet“ und durch den Laserstrahl weitestgehend gehärtet wurde, senkt sich die bewegliche Platte um den minutiösen Teil einer Schichtbreite in der Wanne. Der Tast- und Wiederbeschichtungsprozess wird so lange wiederholt, bis das Objekt vollständig hergestellt auf der Konstruktionsbühne steht.

Einige Objekte haben Überhänge und Vertiefungen, die während des Herstellungsprozesses gestützt werden müssen, da die Konstruktion sonst zusammenbrechen würde. Stützmechanismen können manuell im Designprozess zugefügt werden, in den meisten Fällen werden sie aber automatisch durch die Systemsoftware integriert.

Wenn der Fertigungsprozess abgeschlossen ist, wird das Objekt vollständig aus der Wanne hochgeföhren, um das flüssige Kunstharz abtropfen zu lassen. Überschüssiges Harz kann mit Alkohol manuell abgetupft werden.

Das Objekt wird meist in einem letzten Schritt in einem sogenannten Post-Curing Apparatus (PCA) nachgehärtet. Hierbei handelt es sich um einen ofenähnlichen Apparat,

in dem das Objekt mit intensivem Licht „gebadet“ wird. Nach der endgültigen Härtung werden die Stützmechanismen abgetrennt und die Oberfläche durch Sanden oder andere Verfahren geglättet.

Wie schon erwähnt bedarf es zur Belichtung und Härtung von Photopolymeren nicht ausschließlich eines Lasers. Zunehmender Popularität erfreut sich die Anwendung konventioneller Lichtquellen, zum Beispiel Bogenlampen in Kombination mit Flüssigkristallpanelen, oder eines verformbaren Spiegel-Bauelements (Deformable Mirror Device). Diese sogenannten räumlichen „Lichtmodulatoren“ können jeweils eine gesamte Photopolymer-Schicht in einem Ablauf belichten und härteten.

Bei einem typischen Gerät dieses Anwendungsbereiches wird der Photopolymer von unten durch ein Glasfenster belichtet und ermöglicht, dass das gefertigte Objekt sozusagen langsam aus der Produktionsmulde „entwächst“. Einige Hersteller haben diesen Prozess soweit verfeinert, dass der Mechanismus schnell genug arbeitet, um ein stufenloses „Wachstum“ des Bauobjektes zu erlauben – und zwar ohne den Herstellungsvorgang an irgendeiner Stelle im Prozess für Neubeschichtungen anhalten zu müssen.

Neben der Tatsache, dass diese Methode ohne kostspielige Laser arbeitet, gibt es einen weiteren Vorteil: Es wird kein großer, tief gefüllter Behälter für photopolymeres Material benötigt, denn dieses Verfahren arbeitet auf einer flachen Ebene, d. h. Material wird bedarfsgerecht aufgeschichtet – also nur so viel Material, wie tatsächlich gebraucht wird.

Der über die konventionelle Stereolithografie eingesetzte (große) Produktionsbehälter kann mehrere tausend US-Dollar kosten, wobei nicht gebrauchtes beziehungsweise überschüssiges Material hier wesentlich anfälliger für Dekontaminations- beziehungsweise Degenerationsfehler ist.

Die Firma Envisiontec GmbH wendet diese Methode schon seit vielen Jahren über ihre PerfactoryTM-Serie für hochprofessionelle Maschinen erfolgreich an.

Vor kurzem ist eine Reihe von Open-Source-Anbietern aufgetaucht, die Druckmaschinen mit dieser Technologie im Privatverbrauchermarkt als Bausatz für circa 1000 US-Dollar anbieten.

2.1.1 Vorzüge

Im Anwenderbereich wird Stereolithografie allgemein als die additive Technologie mit der höchsten Präzision und der besten Oberflächenveredelung gepriesen. Im Laufe der letzten Jahre wurden Materialien entwickelt, die in ihren Eigenschaften konventionelle Thermoplaste erfolgreich imitieren. Die Auswahl ist jedoch immer noch begrenzt.

Für den biomedizinischen Bereich sind beispielsweise ein paar selektiv farbveränderbare Materialien verfügbar, und Keramikstoffe werden hier für Spezialapplikationen eingesetzt. Die Technologie zeichnet sich auch dadurch aus, dass überdimensionale Objektfertigungen möglich sind.

So können beispielsweise mit den MammothTM-Maschinen, die in Besitz und Anwendung des Dienstleistungsarms der Firma Materialise NV (Belgien) sind, ganze Automobil-Armaturenpulte in einem Verfahren gedruckt werden.

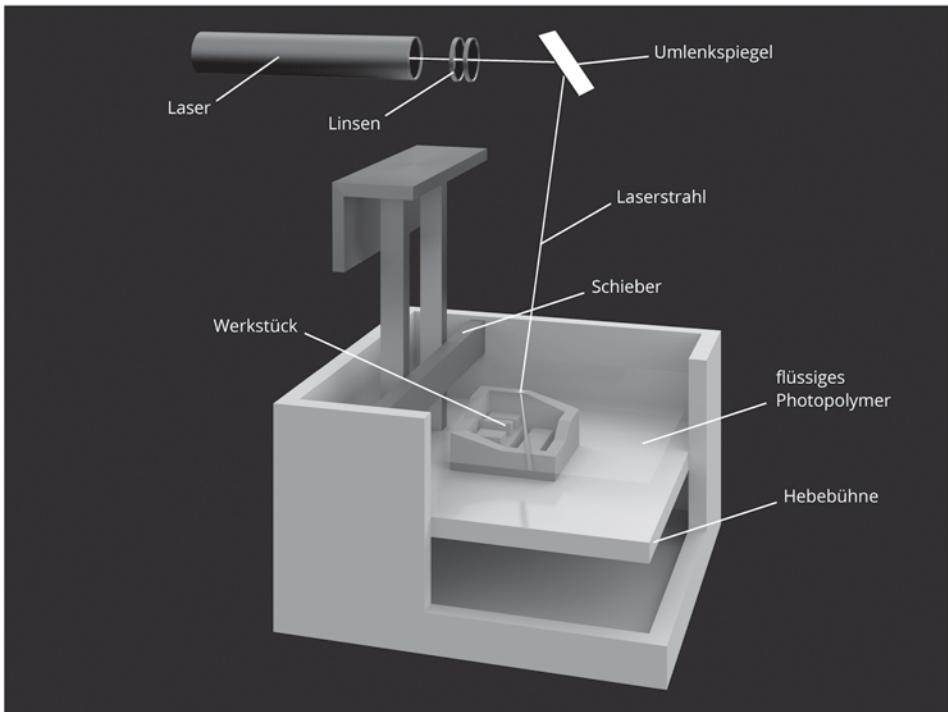


Abb. 2.2 Schemazeichnung Stereolithographie (Quelle: Core Consulting GmbH)

2.1.2 Limitierungen

Das Arbeiten mit flüssigem Material ist selten, wenn überhaupt, sauber. Zudem erfordern „gedruckte“ Objekte eine Nachbehandlung und -bearbeitung bis zur vollständigen Fertigstellung. Da einige der eingesetzten Flüssigkeitstoffe unter Verdacht stehen, krebserregend zu sein, ist besondere Vorsicht geboten.

Die Gewährleistung einer langfristigen Stabilität der Materialien ist immer noch ein Sorgenpunkt und wird bei Überlegungen für Endverbraucher-Applikationen sehr ernst genommen. Die Anlagen sind außerdem teuer: die Rede ist von mehreren zehntausend US-Dollar, was nicht zuletzt daran liegt, dass allein die Laser- und Scanner-Systeme hochwertigste Komponenten sind. Vgl. Abb. 2.2

2.2 Jetted-Photopolymer-Technologie

Bei der Jetted-Photopolymer-Technologie handelt es sich um einen additiven Herstellungsprozess, der die Methoden des Inkjet Printing und der Stereolithografie verbindet.

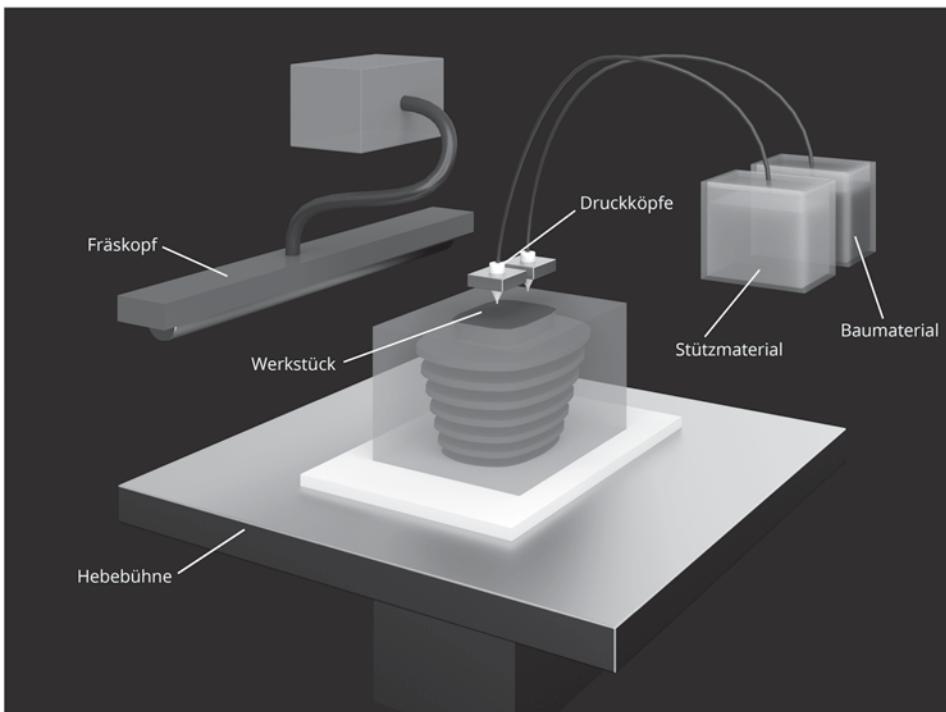


Abb. 2.3 Schemazeichnung der Jetted-Photopolymer-Technologie (Quelle: Core Consulting GmbH)

Der Aufbauprozess des jeweiligen Werkstückes entspricht zunächst dem Inkjet-Printing-Verfahren: Aus einer Anordnung von Inkjet-Druckköpfen wird Bau- und Stützmaterial gespendet, um das Werkstück schichtweise zu erstellen.

Wie bei der Stereolithografie handelt es sich bei dem Baumaterial um ein flüssiges Acrylat-Polymer, das über eine UV-Lampe ausgehärtet wird, nachdem die jeweilige Bauschicht aufgetragen wurde.

Im Verbund dieser beiden Technologien spricht man gelegentlich auch von Photopolymer Inkjet Printing. Klare Vorteile dieses Prozesses sind die erzielbare Präzision und eine sehr gute Oberflächenendverarbeitung. Bauwerkdetails sowie Materialeigenschaften sind jedoch nicht so ausgereift wie bei der Stereolithografie.

Die häufigsten Applikationen der Jetted-Polymer-Technologie findet man zurzeit noch im Prototypenbau, spezifisch für das Testen von Form und Passgenauigkeit eines Werkstücks. Andere Applikationen finden sich in den Bereichen der Musterherstellung beim Rapid Tooling, der Schmuckherstellung und der Fertigung medizinischer Geräte.

Unter den Technologie-Anbietern teilen sich bis jetzt Objet Geometries Ltd. (Israel, inzwischen Teil von Stratasys) und 3D Systems (USA) die Marktführerschaft. Beide Unternehmen investieren gezielt in die Weiterentwicklung von Jetted-Polymer-Verfahren und Geräten. Vgl. Abb. 2.3

Während das basistechnologische Verfahren, wie oben beschrieben, bei beiden Unternehmen gleich ist, nutzen sie bei der Stützstruktur, die beim Jetted-Polymer-Bau notwendig ist, unterschiedliche Ansätze: Objet verwendet ein zusätzliches Photopolymer, das aus einer separaten Düse zugeführt wird; 3D Systems verwendet ein Wachs zur Stützung (ebenfalls über eine separate Düse).

2.3 Lasersintering

Lasersintering ist in seinem Grundverfahren der Stereolithografie ähnlich. Anders als bei der Stereolithografie wird hier ein Laserstrahl über die Oberfläche eines Behälters geführt, der mit verdichteten Pulverpartikeln aus thermoplastischem Material gefüllt ist.

Das Pulver wird durch eine gegenrotierende Walze auf die Oberfläche eines Bauzyinders (Build Cylinder) geschichtet. Der Bauzyylinder wird durch einen Kolben sukzessive um die Höhe einer minutiösen Schichtbreite nach unten bewegt.

Ein Laserstrahl wird über Spiegel eines Scanner-Systems entlang der X-Y-Achsen navigiert, die an exakt lenkbaren Hochleistungsmotoren befestigt sind. Auf diese Weise brennt der Laserstrahl die Querschnittsform des Objektes.

Wie beim Stereolithografie-Verfahren ist auch hier das genaue Muster der Laserstrahlspur eine Kombination der basisgeometrischen Daten aus dem CAD-Programm sowie zusätzlichen Informationen, die von der Software der Druckmaschine stammen, um die Präzision des hergestellten Objektes zu optimieren. Dadurch werden mögliche Ungenauigkeiten, zum Beispiel durch Schrumpfen oder Wölbungen, vermieden.

Auch für dieses Verfahren wurde zur Optimierung dieser Auftragungstechnologie in den letzten Jahren eine Menge Entwicklungsarbeit geleistet.

Der bei dieser Technologie eingesetzte CO₂-Laser generiert einen konzentrierten Infrarot-Hitzestrahl. Das Fabrikationsgehäuse ist abgedichtet und hält eine konstante Temperatur leicht unter dem Schmelzpunkt des Plastikpulvers aufrecht. Somit benötigt der Laserstrahl nur eine kleine Temperaturerhöhung, um den Schmelzprozess zu aktivieren. Dadurch wird der Bauprozess erheblich beschleunigt. Die Stickstoffatmosphäre in der Fabrikationskammer verhindert, dass es durch die hohen Pulverkonzentrate zu möglichen Explosionen kommt.

Wenn das Objekt fertig geformt ist, wird der Fabrikationstisch über den dortigen Kolben nach oben geschoben. Das überschüssige Pulver wird entfernt und die manuelle Endbearbeitung kann durchgeführt werden.

Damit ist der Vorgang aber noch nicht abgeschlossen. Es kann einige Zeit dauern, bis das geformte Teil ausreichend abgekühlt ist, um aus der Druckmaschine entfernt werden zu können. Bei größeren Teilen, mit dünn aufgetragenen Schichten, kann die Kühlzeit durchaus mehrere Tage betragen. Vgl. Abb. 2.4

Anders als bei der Stereolithografie sind bei dieser Methode keine Stützvorrichtungen notwendig, da Überhänge und Hohlkehlen durch das feste Pulverpartikelbett getragen werden. Im Vergleich zur Stereolithografie erspart diese Eigenschaft Zeit bei der Endbearbeitung.

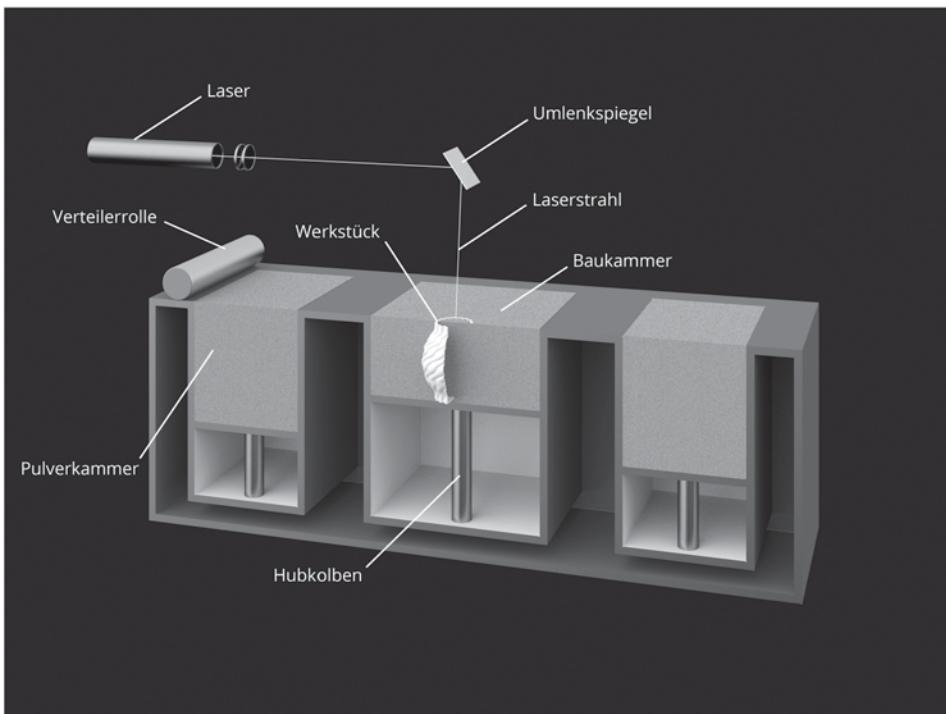


Abb. 2.4 Schemazeichnung Lasersintering-Verfahren (Quelle: Core Consulting GmbH)

Die Endoberflächen sind jedoch nicht so sauber gearbeitet wie bei der Stereolithografie, was wiederum zusätzlichen Zeitaufwand bedeutet. Da die Objekte durch Sintern¹ hergestellt werden, bleibt eine gewisse Porosität erhalten. Je nach Applikation kann es notwendig sein, das Objekt mit einem anderen Material zu infiltrieren, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern.

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte bei der Verbesserung von Oberflächenveredelung und der Reduzierung von Porosität gemacht.

Die Anwendung von Lasersintering wurde inzwischen auf den Bereich der direkten Fertigung beziehungsweise Verarbeitung von Metall- sowie Keramikobjekten und -werkzeugen erweitert.

2.3.1 Vorzüge

Lasersintering bietet nunmehr die Möglichkeit, ausgereifte Metall- und Plastikteile mit der gleichen Qualität herzustellen, wie sie im konventionellen Verfahren produziert wer-

¹ Sintern ist ein Verfahren, bei dem körniges oder pulvriges Ausgangsmaterial verschmolzen wird.

den. Somit ist Lasersintering unter den Technologien zur billigeren Herstellung von Produkten mittlerweile wettbewerbsfähig.

Für additive Herstellungsverfahren ist Lasersintering in der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie im Bereich Medizin oftmals die Methode der Wahl. Eine Vielfalt thermoplastischer Materialien, wie Nylon, glasverstärktes Nylon und Polystyrene, ist verfügbar. Oberflächenveredelung und Präzision entsprechen im Vergleich nicht ganz dem Standard der Stereolithografie. Die Materialeigenschaften unterscheiden sich jedoch zu den Grundmaterialien in der konventionellen Herstellung kaum.

2.3.2 Limitierungen

Mechanisch ist die Methode anspruchsvoller und die Ausrüstung umfangreicher, als es bei der Stereolithografie sowie den meisten anderen Technologien der Fall ist. Komponenten wie das Laser- und Scanner-System sind ausgesprochen teuer und führen nicht selten zu Anlagen mit einem Preisschild von deutlich über 100.000 €.

Die hohen Materialkosten sind ein weiteres Thema. Zwar lassen sich günstigere Basiskunststoffe und -metalle einsetzen, Hersteller binden ihr Material jedoch an Garantiebestimmungen für gelieferte Maschinen und an Service-Vereinbarungen.

Wie schon erwähnt, sind durch das Sintern hergestellte Objekte porös und erfordern in der Regel das Infiltrieren von zusätzlichem Material, um die mechanischen Eigenschaften zu stabilisieren. Auch hier haben Neuentwicklungen zu Lösungen geführt. Durch das sogenannte Selective Laser Melting (SLM), das inzwischen von einigen Anbietern vertrieben wird, ergänzt man den Lasersintering-Prozess um eine Variante: Der Laserstrahl ist noch konzentrierter und „brennt“ vollmassige Teile.

2.4 Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM), auch Schmelzschichtung oder thermoplastische Extrusion genannt, ist beim Rapid Prototyping ein häufig eingesetztes Fertigungsverfahren für Modellierungen, Prototypenerstellungen und Produktionsapplikationen.

Es wurde von S. Scott Crump Ende der 80er-Jahre entwickelt und ist seit 1990 kommerziell verfügbar.

Die Bezeichnung „Fused Deposition Modeling“ und dessen Abkürzung „FDM“ sind ein durch Stratasys Inc. geschütztes Markenzeichen. Ein Äquivalent, die „Fused Filament Fabrication“ (FFF), wurde durch die Mitglieder des RepRap-Projektes angeregt, um eine frei verfügbare Bezeichnung zu schaffen.

Verfahren Fused Deposition Modeling beginnt am Computer mit der Erstellung einer STL-Datei (Stereolithografie-Dateiformat), bei der die räumliche Ausrichtung des Modells mathematisch berechnet werden kann.

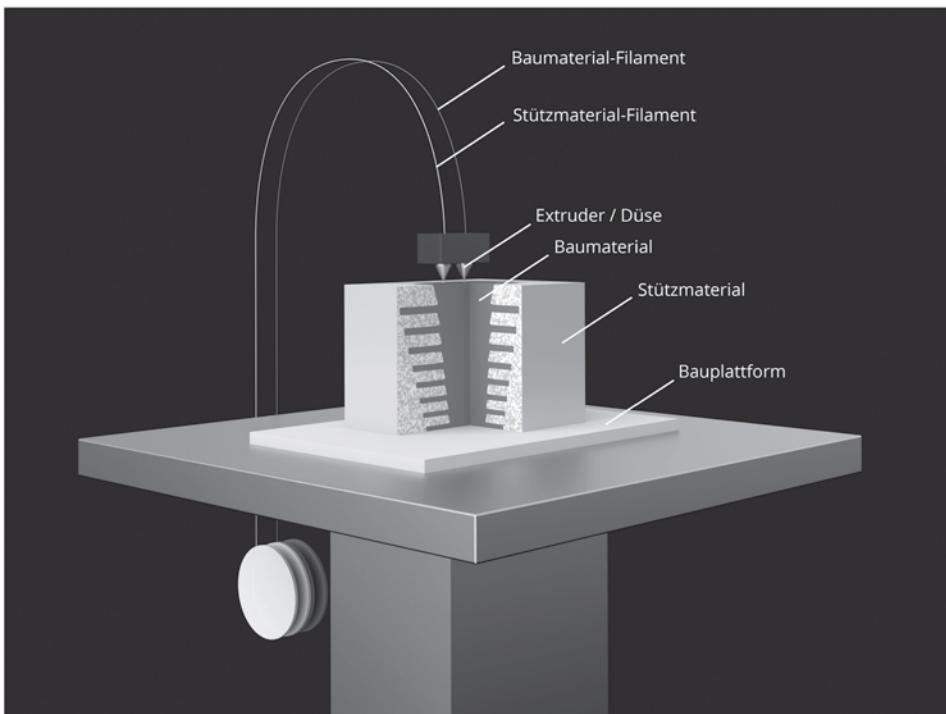


Abb. 2.5 Schemazeichnung FDM-Verfahren (Quelle: Core Consulting GmbH)

Wo erforderlich, werden Stützmaterialen (Supporting Structures) automatisch erzeugt. Entsprechend ist das Druckgerät mit zwei Materialzufuhrdüsen ausgestattet, eine für den Objektbau, die andere für das Stützmaterial.

Die thermoplastischen Baustoffe (in der Regel eine besondere Kunststoffart) werden durch Erhitzen verflüssigt und unter Druck durch eine frei bewegliche Heizdüse herausgepresst (extrudiert). Entsprechend der Vorlage der STL-Datei kann nahezu jedes Format hergestellt werden. Vgl. Abb. 2.5

Da geschmolzene Kunststoffe eine lange Abkühlungsphase haben beziehungsweise nicht gleich aushärten und ebenso lange „weich“ bleiben, ist der Einsatz von Stützkonstruktionen unentbehrlich, um Verformungen von Überhängen und in Hohlräumen zu vermeiden.

Das gewählte Material wird in feinen Schichten von durchschnittlich 0,04 mm (0,025 bis 1,25 mm) und einer Wandstärke von mindesten 0,2 mm aufgetragen.

Somit wird das Modell von unten nach oben, Schicht für Schicht, erstellt. Bei der schichtweisen Modellherstellung verbinden sich damit die einzelnen Schichten zu einem komplexen Ganzen.

Von Nachteil ist dabei die mangelnde Stabilität in einigen Bereichen durch die entstehende Schichtung.

Fused Deposition Modeling ist dadurch ein sehr flexibles Herstellungsverfahren, da mithilfe der Stützkonstruktionen auch überhängende oder abgeschrägte Werkstücke gefertigt werden können.

Verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Festigkeiten und Temperatureigenschaften stehen zur Verfügung, unter anderem Acrylnitril Butadien Styrol (ABS), Polycarbonate, biologisch abbaubares Polycaprolacton (PCL), hochtemperaturbeständiges Polyphenylensulfid (PPS) und synthetisches oder natürliches Wachs.

Wasserlösliche Materialien wie Polyvinylacetat (PVAc, mitunter auch nur PVA) können zum Bau temporärer Stützkonstruktionen während des Fertigungsprozesses verwendet werden. Nach Fertigstellung des Objektes können die Stützstoffe rasch in speziellen Waschvorgängen mit Natriumhydroxid-Lösung entfernt werden.

2.5 Single Jet Inkjet

2.5.1 Thermal Phase Inkjets (Inkjet-Geräte mit thermodynamischem Verfahren)

Solidscape (inzwischen Stratasys zugehörig) wendet ein Verfahren an, bei dem für jedes eingesetzte Material beim Bau eine eigene Düse eingesetzt wird. Material wird in flüssigem oder aufgeweichtem Zustand aus der jeweiligen Düse gepresst und härtet bei der Abkühlung aus. Für das notwendige Stützmaterial wird Kunststoff oder Wachs verwendet.

Die Düsen sind nebeneinander angeordnet und arbeiten parallel, während die erforderliche Geometrie des Objektes geformt wird. Dieses sogenannte „Drop-on-demand“ (DOD)-Verfahren gewährleistet, dass stets nur die erforderliche Substanzmenge zugeführt wird.

Nachdem durch einen Spritzdruckvorgang eine Schicht entstanden ist, gleicht eine Fräswalze Unebenheiten aus, Reste werden eingesaugt und in einer Filterkammer gesammelt. Gleichzeitig werden die Düsen überprüft. Bei Verstopfung einer der Düsen erfolgt ein Reinigungsschritt; die fehlerhafte Schicht wird abgetragen und der Prozess fortgesetzt. Anschließend senkt sich die Fertigungsplattform um die Breite eines Spritzstranges, damit die nächste Schicht aufgetragen werden kann.

Nach Fertigstellung des Objektes wird das Stützmaterial abgeschmolzen beziehungsweise gelöst. Das Solidscape-Verfahren kann sehr feine Oberflächen herstellen, was jedoch einen langen Herstellungsprozess nach sich zieht. Somit muss stets ein Kompromiss zwischen Fertigungsdauer und der Nachbearbeitungszeit gefunden werden. Das Verfahren wird insbesondere für die Herstellung von Schmuck und sehr detailintensiven medizinischen Implantaten genutzt.

2.5.2 Vorzüge

Dieses Verfahren eignet sich zur Herstellung feinster, detailintensiver und präziser Objekte jeder additiven Herstellungsapplikation.

2.5.3 Limitierungen

Für große Werkstücke ist diese Technologie unverhältnismäßig zeitaufwendig und deshalb dafür nicht anwendbar.

Geeignete, anwendbare Materialien stehen nur begrenzt zur Verfügung, sind in der Regel mit der Gießereitechnik verwandt und werden deshalb nur gezielt eingesetzt. Beispiel: Die Mehrzahl der durch die Solidscape-Technologie hergestellten Objekte sind keine eigenständigen Bauwerke, sondern Bestandteile im Gussverfahren.

Die Geräte sind teuer und erst ab einem Preis von 40.000 US-Dollar verfügbar.

2.5.4 Photopolymer Phase Inkjets (Inkjet-Geräte mit Photopolymer-dynamischem Verfahren)

Die Firma Objet (Israel; jetzt Stratasys) führte die erste Druckmaschine auf Basis des Photopolymer-Phase-Inkjet-Verfahrens im Jahr 2000 mit seinem Modell PolyJetTM ein.

Wie der Name schon sagt, beruht das Verfahren grundsätzlich auf dem Einsatz von Photopolymeren, verwendet aber einen breitflächigen Druckkopf, um die Objektschichten und Stützmaterialien aufzutragen. Es bearbeitet jede Schicht mit einer UV-Lampe nach, die auf der Druckdüse montiert ist. Das Stützmaterial wird anschließend mit Wasserhochdruck entfernt.

Diese Technologie ist deshalb relativ erfolgreich, weil sie wesentlich preiswerter als ihre artverwandte Schwester, die Stereolithografie, ist, auch wenn das Verfahren der Stereolithografie bezogen auf Größe und Materialeigenschaften nicht ganz das Wasser reichen kann.

2003 kündigte 3D Systems ein ähnliches Photopolymer-basiertes System mit dem Modellnamen InVisionTM an. Das System wird inzwischen unter dem Label ProJetTM vertrieben. Wie bereits im Abschn. 2.2 zum Jetted-Polymer-Verfahren erwähnt, besteht der wesentliche Unterschied dieser Technologie darin, dass die Stützmaterialien aus Wachs bestehen und nicht abgespült, sondern abgeschmolzen werden.

2007 kündigte Objet das Connex500TM-System an, die erste industrielle Druckmaschine, die zwei Werkstücke gleichzeitig fertigen kann. Dies ermöglicht die Herstellung von Produkten mit unterschiedlichen Eigenschaften, die sich in ihrem Volumen unterscheiden. Das Interesse an dem System war bei dessen Einführung groß, und es hat inzwischen seinen festen, spezialisierten Platz bei den entsprechenden Dienstleistern gefunden.

2.5.5 Vorzüge

Die feine Auflösung und hohe Genauigkeit, die der Stereolithografie annähernd entsprechen, sind die Vorzüge dieses Verfahrens. Verschiedene Materialien sind verfügbar, einige davon sogar digital mischbar, um Teile wie zum Beispiel flexible und starre Abschnitte, verschiedene Farben und/oder durchgehend wechselnde Eigenschaften herzustellen.

2.5.6 Limitierungen

Mit Anfangspreisen nicht unter 60.000 US-Dollar und bis zu 250.000 US-Dollar (z. B. für ein Spitzengerät wie die ConnexTM-Serie von Stratsys, bei der zwei Materialien gleichzeitig verarbeitet werden können), ist die Technologie sehr teuer.

Ebenfalls sehr teuer sind die eingesetzten Werkstoffe, maßgeblich bedingt durch noch bestehenden Patentschutz. Teilweise ist die erforderliche Entfernung des Stützmaterials aufwendiger und schmutziger als der Herstellungsprozess selbst, was jedoch in der Industrie nicht unbedingt als ausgesprochener Nachteil gewertet wird.

2.6 Dreidimensionaler Druck 3D-Printing

Im Bereich der digitalen Fabrikation bezeichnet man 3D-Printing (3DP) als eine spezielle Unterart der Maschinenklassifizierung digitaler Fertigungstechnologien. Innerhalb der Gruppe digitaler Fertigungstechnologien steht das dreidimensionale Drucken an oberster Stelle für additive Fertigungsverfahren.

Die Technologie des 3DP wurde am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelt und schließlich an einzelne Unternehmen für kommerzielle Zwecke lizenziert. Das Verfahren ist grundsätzlich mit dem Selective Lasersintering (SLS) verwandt, unterscheidet sich jedoch bei der Werkstoffzuführung dadurch, dass hier nicht mit einem Laserstrahl gebrannt, sondern mittels eines Inkjet-Druckzylinders ein flüssiges Bindemittel in den Fertigungsprozess eingespeist wird.

Die Verfügbarkeit der eingesetzten Werkstoffe, in der Regel Metall- und Keramikpulverpartikel, ist begrenzt, aber im Vergleich zu anderen additiven Herstellungsmethoden sind die Werkstoffe kostengünstiger.

Das 3DP-Verfahren zeichnet sich einerseits mit einer typischen Auftragungsgeschwindigkeit des Werkstoffes von zwei bis vier Schichten pro Minute aus, was als sehr schnelle Bauzeit gilt. Andererseits geht dies, im Vergleich zu anderen additiven Prozessen, zulasten der Verarbeitungspräzision und der Stabilität des jeweiligen Bauteils.

Der Einsatzschwerpunkt von 3DP beim Rapid Prototyping liegt bei der Fertigung von konzeptionellen Modellen, mit denen nur begrenztes funktionales Testen möglich ist.

Der Druckprozess beginnt mit einem gefüllten Pulverpartikelbehälter, dessen Inhalt durch einen Kolben millimetergenau aufwärts geschoben wird, während eine Walze zeitgleich darüber rollt und eine Pulverschicht auf die Fertigungsbühne verteilt.

Ein mehrdüsiger Inkjet-Druckkopf verteilt flüssiges Bindemittel exakt auf vorbestimmte Regionen innerhalb der Pulverschicht auf der Fertigungsbühne, wo die berührten Pulverpartikel gebondet werden. Dadurch entsteht ein jeweils fertig fabriziertes Schichtteil des Objektes; die Fertigungsbühne senkt sich um eine Schichtbreite und der Vorgang wird bis zur vollständigen Konstruktion wiederholt. Das überschüssige Pulver verbleibt bis zum Bauende als Stützmaterial. Vgl. Abb. 2.6

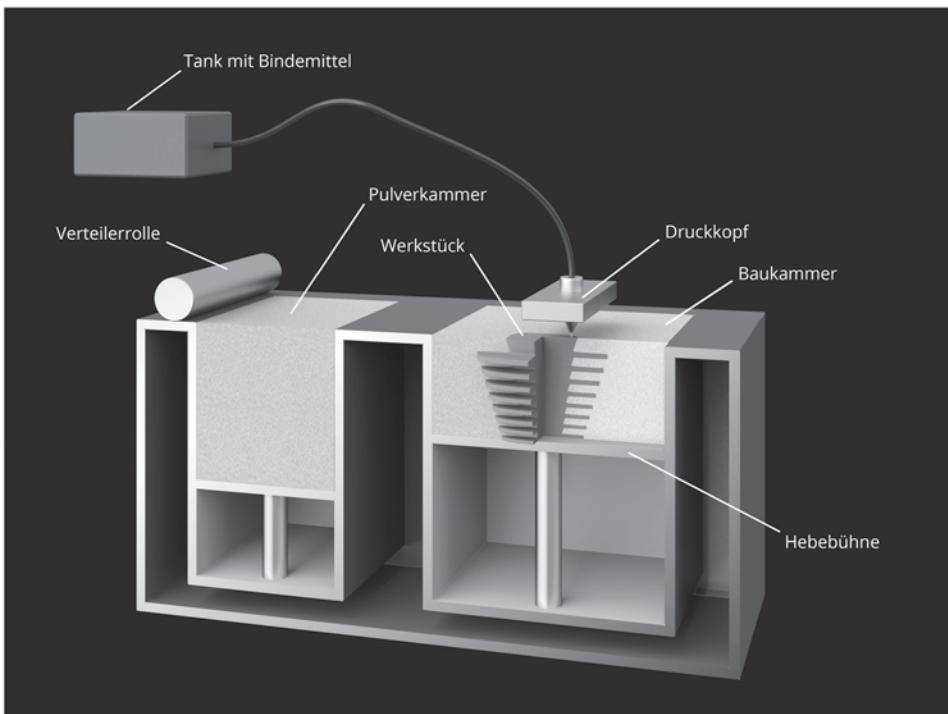


Abb. 2.6 Schemazeichnung 3DP (Quelle: Core Consulting GmbH)

Nach Fertigstellung des Bauteils wird die Fertigungsbühne hochgefahrene, und das überschüssige Pulver kann mit Pinseln weggefegt beziehungsweise mit Druckluft weggeblasen werden.

In der Regel werden 3DP-Bauteile nach der Säuberung mit einem Dichtungsmittel versetzt, um deren Stabilität zu erhöhen und die Oberflächenveredelung zu verbessern.

2.6.1 Indirekter 3D-Druck am Beispiel ExOne

Als erwähnenswertes Beispiel für einen Innovationsschub bei dieser Technologie möchten wir auf das Unternehmen ExOne (Augsburg) mit seinem R2-System aufmerksam machen. Hier werden über das 3DP-Verfahren Metallartefakte produziert, indem man ein Bindungsmittel auf ein Bett aus Metallpulverpartikeln aufträgt.

Nach dem Druckvorgang wird der Grünling mit zwei thermischen Behandlungen nachbearbeitet. Beim ersten Durchgang wird das polymere Bindemittel vollständig ausgehärtet. Beim zweiten Durchgang wird das Werkstück zur vollen Feststoffdichte gebacken.

Eckdaten des ExOne R2-Systems Das R2-System fertigt Kleinstmetallteile mit einer Komplexitätstiefe, die mit keinem anderen Maschinenwerkzeug zustande gebracht werden kann.

- Maximale Bauteilgröße: 8 Zoll x 8 Zoll x 6 Zoll.
- Druckgenauigkeit: +.001 Zoll
- Druckkopf: 4 000 Tropfen Bindemittel pro Düse pro Sekunde

Ähnlich wie beim konventionellen Inkjet-Drucker können die Spritzdüsen des 3D-Druckers schrittweise viele Tropfen des Bindemittels gleichzeitig ablagern. Somit wird jede Schicht viel schneller „gedruckt“, als es bei laserbasierten oder additiven Prozessen der Fall ist, bei denen das Material nur „stückweise“ aufgetragen werden kann.

Weitere Vorteile, die im Übrigen auch insgesamt für den 3DP-Prozess gelten:

- Das überschüssige Pulver wird während des Fertigungsprozesses automatisch zum Stützmaterial. Die Konstruktion und anschließende Entfernung einer Stützstruktur entfällt somit.
- Durch die Präzision der Spritzdüsen können sehr detaillierte beziehungsweise formkomplexe Bauteile gefertigt werden.
- Das nach dem Fertigungsverfahren überschüssige Pulver kann für den Bau neuer Werkstücke wiederverwendet werden.

2.7 Laser Powder Forming

Wenn es um die Herstellung großvolumiger Metallteile und -werkzeuge geht, sind die Laser-Powder-Forming (LPF)-Technologien wie zum Beispiel das am besten bekannte Laser Engineered Net Shaping™ (LENS) am erfolgreichsten.

Die LENS-Technologie wurde von Sandia National Laboratories entwickelt (einer US-finanzierten Forschungsstiftung mit Schwerpunkt in den Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie diversen Technologien, insbesondere bezogen auf Themen der nationalen Sicherheit). Beim LENS-Verfahren werden Metallteile direkt von einem nicht-geschichteten übertragenen CAD-Modell (CAD Solid Model) hergestellt. Metallpulverpartikel werden in ein Schmelzbad eingespeist, das ein scharf eingestellter Hochleistungslaserstrahl erzeugt.

Zur Gewährleistung der erforderlichen Präzision werden Spiegel- und Linsensysteme zur korrekten Steuerung und Dosierung des Laserstrahls eingesetzt.

Der Schmelzvorgang ist punktuell ausgerichtet. Die Fertigungsbühne bewegt sich entlang der X-Y-Achse schichtweise nach oben. Die metallenen Pulverpartikel werden entweder mittels Schwerkraft oder durch Druck-Gas über ein Taillengehäuse am äußeren Umfang des Abscheidungsventils während des Schmelzprozesses zugeführt.

Verschiedene Materialien kommen zum Einsatz: Edelstahl, Inconel, Kupfer, Aluminium und dergleichen – momentaner Favorit ist Titan. Die große Mehrheit der Systeme in diesem Bereich nutzt eine Pulverzuführung, die immer laserbasierte Verarbeitung voraussetzt. Allerdings wird im Rahmen neuer Entwicklungen inzwischen auch mit einer Metalldrahtzuführung gearbeitet; in solchen Fällen wird der zugeführte Draht mit einem Hochleistungselektronenstrahl-System geschmolzen.

Der Einsatz von Pulverpartikeln erlaubt eine dynamisch schnell anpassbare Materialmischung und ermöglicht die Herstellung von Objekten, die denen über konventionelle Methoden gefertigten Objekten in nichts nachstehen.

Wie bereits erwähnt, sind die metallurgischen Eigenschaften im Vergleich zu den intrinsischen Materialien identisch, in einigen Fällen sogar besser. Laser Powder Forming hat geringere Materialeinschränkungen, wie es beim Lasersintering der Fall ist, und bedarf keiner zweiten Befeuerungsoperation (die bei einigen Lasersintering-Prozessen notwendig ist). Das Laser Powder Forming kann sogar zur Reparatur von beschädigtem Material eingesetzt werden. Dennoch ist selbst beim Laser Powder Forming nach dem Hauptherstellungsprozess eine maschinelle Nachbearbeitung erforderlich.

Typische Applikationen dieser Technologie finden sich im Raumfahrtsektor, beispielsweise zur Reparatur von großen Bauteilen aus Titan oder anderen „exotischen“ Metallen.

2.7.1 Vorzüge

Die LPF-Verfahren eignen sich zur relativ schnellen Herstellung großer Bauteile und Werkzeuge, mit einem guten Angebot einsetzbarer Metalle.

Neben der Herstellung vollständiger Bauobjekte, kann man die Verfahren ideal zur Reparatur und Wiederaufbereitung teurer Teile, wie zum Beispiel Düsentriebwerk-Komponenten, verwenden.

2.7.2 Limitierungen

LPF-Druckmaschinen sind massig, schwer, teuer und beanspruchen einen hohen Energiebedarf. Folglich sind die LPF-Verfahren einigen wenigen Technologieanbietern vorbehalten. Zwar ist der geometrische Freiraum beim Design relativ unbegrenzt. Im Vergleich zu anderen additiven Verfahren sind die Einschränkungen insgesamt höher.

Überhänge und Hohlbereiche erfordern gegebenenfalls Stützstrukturen, die anschließend mit aufwendiger maschineller Nachbearbeitung entfernt werden müssen.

2.7.3 Fazit

Bei allen mit dieser Technologie hergestellten beziehungsweise bearbeiteten Bauteilen muss man, je nach Komplexität des Werkteils, mit einer erheblichen Endbearbeitung rechnen.

2.8 Laminated Object Manufacturing

Für das Laminated Object Manufacturing (LOM) wurden im Laufe der Jahre verschiedene Technologien entwickelt.

Prinzipiell wird das Werkstück durch schichtweises Laminieren aufgebaut. Jede neue Schicht wird nach dem Auftragen gemäß der CAD-Modellvorgabe zugeschnitten; erst dann erfolgt das Auftragen der nächsten Schicht. Dieser Prozess wiederholt sich, bis das Werkstück fertiggestellt ist.

Die Laminierungsfolie (Grundmaterial ist Papier) wird zunächst von einer Versorgungsrolle auf die Fertigungsbühne gerollt. Eine Hitzerolle fährt anschließend darüber und bindet die neue Schicht mit dem zuvor abgerollten und verarbeiteten Material.

Anschließend schneidet ein CO₂-Laser die vorgegebenen Querschnittsprofile aus. Überschüssiges Material wird abgeschnitten und über eine Aufnahmerolle auf der gegenüberliegenden Seite der Herstellungsbühne gesammelt.

Der CO₂-Laser bewegt sich dabei mit hoher Präzision und Geschwindigkeit horizontal und vertikal entlang des X-Y-Achsenschemas. Bei dem Prozess entsteht ein erhebliches Maß an Rauch, bisweilen sogar lokale Flammenbildung. Deshalb ist die Fertigungskammer stets versiegelt und bedarf eines Rauchabzugs und/oder Kohlefiltersystems.

Durch das schichtweise Auftragen werden Überhänge und Hohlbereiche vom Material selbst gestützt. Flächen der Querschnitte, die vom fertigen Werkstück zu entfernen sind, werden häufig mit dem Laser nur kreuzweise eingeschnitten, was ihre Entfernung relativ zeitaufwendig macht.

Im Allgemeinen sind Oberfläche, Präzision und Stabilität der Laminat-Objekte nicht so gut ausgebildet wie bei anderen Werkstoffen unter den Rapid-Prototyping-Methoden. Dafür sind die Materialkosten umso geringer.

Die gefertigten Werkstücke haben sowohl das Aussehen als auch die Eigenschaften von Holz und können entsprechend durch Sanden und Fräsen nachbearbeitet werden. Vgl. Abb. 2.7

Plastik und Verbundwerkstoffe wie Keramik und Metalle sind erprobt worden; keiner dieser Werkstoffe ist jedoch derzeit auf breiter Basis für das Verfahren kommerziell erhältlich.

Präzision und Auflösung der durch das Schichtverfahren hergestellten Objekte hängen von der jeweils zugrundeliegenden Schichtdichte der Laminierungsfolie ab und können entsprechend begrenzt ausfallen. Dennoch sind die Ergebnisse in der Regel erstaunlich attraktiv.

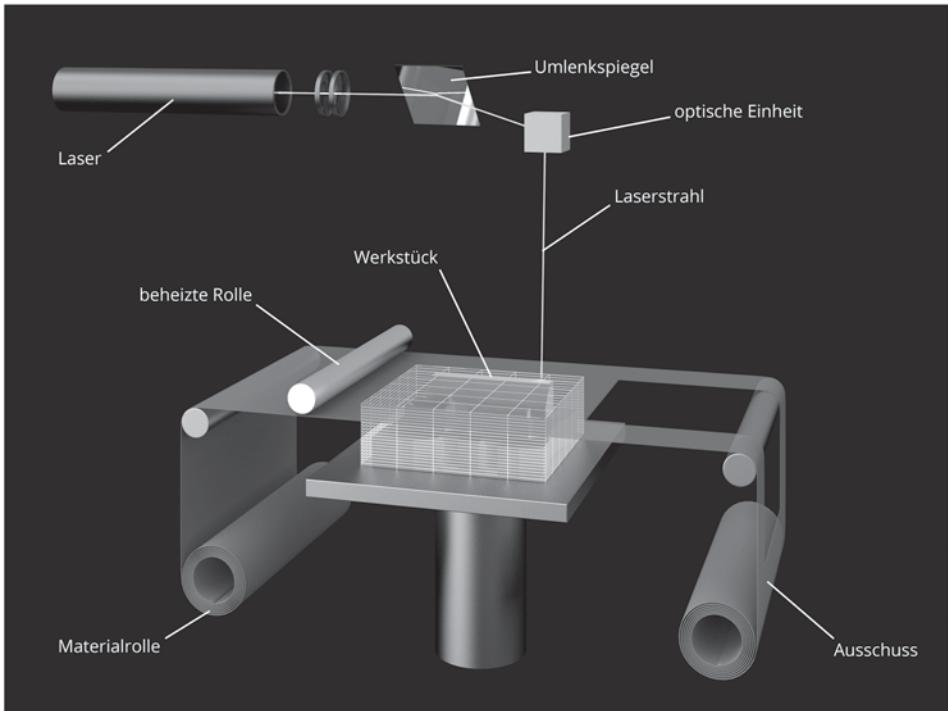


Abb. 2.7 Schemazeichnung Laminated-Object-Manufacturing-Technologie (Quelle: Core Consulting GmbH)

Beispielsweise nutzt das Unternehmen Mcor Technologies Ltd. (Irland) zum Zuschneiden einer Laminatschicht statt eines Lasers ein Messer und trägt jede Folienschicht einzeln auf.

Die Entwicklung zur Verbesserung von Geschwindigkeit und Materialvielfalt geht unentwegt weiter. Beispielsweise versucht man, dicke Folien diagonal einzuschneiden, um die ansonsten sichtbaren Schichtkerben zu vermeiden; diese Methode ist jedoch kommerziell noch nicht verfügbar.

Mcor Technologies Ltd. ist der zurzeit jüngste Bewerber, der versucht, führend in den Markt der LOM-Technologien einzudringen und er hat dabei auch gute Chancen. Das Unternehmen betont bei Marketingkampagnen seine geringen Materialkosten. Anfang 2013 wurde die Druckmaschine „IRIS“ eingeführt, mit der auf Papierbasis jedes beliebige Objekt mit voller Farbgebung gefertigt werden kann. Das Gerät ist mit einer Dimension von drei Kubikmetern relativ groß, kostet circa 45.000 US-Dollar und wird, laut Hersteller, eher im industriellen Bereich Anwendung finden.

2.8.1 Vorzüge

Da bei dieser Technologie Papier als Basismaterial eingesetzt wird, sind die Materialkosten ebenso günstig wie der Kauf von konventionellem Kopierpapier. Die Technik gewährleistet eine zügige Verarbeitung, die Schichten werden rasch aufgebaut und das gefertigte Objekt ist relativ dichtmassig.

Während diese Technik sich nicht als Allgemeinlösung bewährt hat, bieten eine Reihe von Firmen spezifische Funktionen an, um beispielsweise biomedizinische Instrumente und Komponenten, Heißprägewerkzeuge und Keramikteile zu fertigen. Diese Nischenanwendungen sind recht erfolgreich.

2.8.2 Limitierungen

Papier ist billig, aber nicht dauerhaft stabil. Es absorbiert Feuchtigkeit, so dass Unregelmäßigkeiten oder Wellungen entstehen können. Es gibt nur sehr wenige Anwendungen, bei denen Papier durch besondere Verarbeitung mit der gleichen Festigkeit und Stabilität wie Kunststoff und Metall eingesetzt werden kann.

Die deutlich sichtbare Rillenbildung beim Schichten-Aufbau ist im Vergleich zu allen anderen Technologien am stärksten ausgeprägt und führt dazu, dass sich Präzision und Detailtreue nicht mit anderen Methoden messen lassen können.

Materialien und Anwendungen

3

In gewisser Hinsicht ist das aktuell „heißeste“ Thema rund um 3D-Druck das Thema Materialien. Was das Material leistet, entscheidet mehr als alle anderen Faktoren darüber, wo 3D-Drucker eingesetzt werden können und wo nicht. Egal ob im „Low-End-Bereich“ oder bei den teuersten Industriedruckern – hier sind in den nächsten Jahren die größten Fortschritte zu erwarten. Fester, poröser, härter, weicher, flexibler, recyclebar, umweltverträglich, unbedenklich für die Gesundheit, wiederverwendbar, wasserlöslich¹ – das sind nur einige der Stichworte, die die Materialinnovationen der Zukunft umschreiben. Vgl. Abb. 3.1 (Vorher) und Abb. 3.2 (Nachher)

Auch Anwender billigerer 3D-Drucker profitieren von den Fortschritten der Materialforschung. Abb. 3.1 und Abb. 3.2 zeigen eine per Heimdrucker produzierte Schnalle. Wir haben die Materialproben der Firma Almteq² selbst ausprobiert: Die Schnalle mit Stützmaterial wird einfach in warmes Wasser geworfen. Nach wenigen Minuten löst sich das Stützmaterial auf und kann problemlos entfernt werden. Übrig bleibt ein voll-funktionsfähiger Verschluss.

Was Langlebigkeit, Verhalten unter Grenzlast und Gesundheitsrisiken (z. B. Feinstaubbelastung³ oder Krebsgefahr) von 3D-Druck-Materialien betrifft, ist wenig bekannt. Hier gibt es logischerweise keine Langzeitstudien und verhältnismäßig wenig Erfahrungswerte.

Auch schwer abzuschätzen ist, wie gut die Materialausbeute wirklich ist. Theoretisch könnten es in der additiven Fertigung 100% sein. Aber in der Realität wird zum Beispiel beim Lasersintern auch das nicht-benutzte Pulver durch Funkenflug und andere Einflüsse verunreinigt und kann auch nach dem Durchlaufen von Anlagen zur Auffrischung nur teil-

¹ Wasserlösliche Materialien sind interessant für Stützstrukturen, die anschließend entfernt werden sollen.

² Vielen Dank an die Firma Almteq, die mir nach dem Gespräch auf der EuroMold die Materialprobe geschickt hat. Weitere Informationen zu Almteq finden Sie unter www.almteq.com.

³ Feinstaub ist ein Thema beim Betrieb von Sinter-Anlagen.

Abb. 3.1 Vorher: Schnallen-Paar, links noch unterfüllt mit (wasserlöslichem) Stützmaterial. (Quelle: Core Consulting GmbH)



Abb. 3.2 Nachher: das fertige Schnallen-Paar Marke „Heim-Druck“. (Quelle: Core Consulting GmbH)



weise wiederverwendet werden. Im Einzelfall werden oft Wirtschaftlichkeits- und Risikofaktoren abgewogen: Es macht wohl wenig Sinn, Festigkeitsrisiken einzugehen bei einem Bauteil, das in Satelliten oder Flugzeuge eingebaut wird. Bei einem reinen Anschauungsmodell stehen möglicherweise Kostenaspekte im Vordergrund. Die Wiederverwendungsrate bei Gold dürfte aus naheliegenden Gründen am höchsten sein.

Bei Verfahren wie FDM/FFF oder Stereolithographie wird meist Stützmaterial benötigt, das normalerweise nicht wiederverwendet werden kann, und insbesondere der 3D-Heimdrucker ist noch von vielen Fehldrucken geplagt.

Im Folgenden befassen wir uns mit den heute gängigsten Materialien und Anwendungsfeldern des 3D-Druck im Allgemeinen.

3.1 Die gängigsten Materialien

3.1.1 Metallteile

Die Nachfrage zur Fabrikation mit Metallteilen ist sehr groß; entsprechend werden viele Teile insbesondere für den B2B-Bereich hergestellt. So hat zum Beispiel Boeing bei der Konstruktion seiner Internationalen Raumstation (International Space Station, ISS) das Lasersinter-Verfahren eingesetzt.

Die Industrie erwartet, dass der Einsatz von Pulverpartikelformenbau-Technologien mittels Laser einen zunehmenden Schwerpunkt bei der Herstellung von Metallteilen haben wird. Die große Spanne von Applikationsmöglichkeiten beinhaltet schwere Stahlwerkzeuge zur Herstellung von Kraftfahrzeugteilen, Titanteile für die Luft- und Raumfahrttechnik und komplexe Edelstahlteile und Legierungen für medizinische Implantationen.

Inzwischen werden etliche Prozesse „unter die Lupe“ genommen, um die Entwicklung von kleinen Metallteilen auf Serienbasis voranzutreiben. Die Firma Microfabrica Inc. setzte hier den Grundstein durch die Vermarktung einer Technologie, die an der University of Southern California entwickelt wurde.

Die Technologie von Microfabrica Inc. (mit dem Namen MICA-Freeform-Prozess) ermöglicht die Herstellung komplexer chirurgischer Miniaturinstrumente sowie integrierte Schaltkreise für Probenentnahmen.

3.1.2 Keramikteile

Es gibt eine Reihe von Technologien, die bei der Herstellung von Keramikteilen für unterschiedliche Applikationen eingesetzt werden. Stereolithografie und das Laminated Object Manufacturing haben hier gleichsam in den letzten Jahren hohe Entwicklungsaufmerksamkeit erhalten. Auch Inkjet-Modellierungen finden unter den verfügbaren Rapid-Prototyping-Methoden zunehmende Beachtung.

Als klassisches Beispiel sei hier das Massachusetts Institute of Technology (MIT) erwähnt, wo die Entwicklungsarbeit in der 3D-Drucktechnologie Keramikfilter für Kohleheizkraftwerke, die Herstellung von Spezialkeramikwiderständen für den Halbleiterbau und die Fertigung von Ersatzzähnen in der Zahntechnik hervorgebracht hat.

3.1.3 Plastikteile

Plastikteile für den Konsumgütermarkt werden über das Fused-Deposition-Modeling(FDM)-Verfahren, die Stereolithografie sowie einige andere additive Prozesse hergestellt.

Beispielweise hat die Firma RedEye (ein großes Dienstleistungsbüro aus dem Hause Stratasys) vor Kurzem bekanntgegeben, dass 30% ihrer Arbeitsleistung mit dem FDM-Verfahren zusammenhängt.

Ein anderes interessantes Beispiel bietet die MiCROTEC GmbH (Brixen, Italien), bei der ein Photopolymer-basiertes Verfahren entwickelt wurde (ähnlich der Stereolithografie), mit dem stündlich hunderttausende von Kleinteilen für die Bereiche Medizin, Raumfahrt und Kommunikationstechnik hergestellt werden können.

Für die Herstellung hochwertiger Plastikteile mit guten physikalischen Eigenschaften wird oft das Lasersintering eingesetzt. Die Firma EOS GmbH (Krailling bei München) geht sogar einen Schritt weiter und stellt Teile für die eigenen Lasersintering-Druckgeräte im Selbstklonverfahren her.

Additive Fertigungsapplikationen werden durch die Entwicklung von Materialien angetrieben, die ein breiteres Spektrum mechanischer Eigenschaften anbieten beziehungsweise vorhandene (klassische) Baumaterialien immer genauer imitieren können. Dies wird durch Verbesserungen in der Resolution und Endverarbeitung sowie durch die Entwicklung spezialisierter Systeme für unterschiedliche Applikation gewährleistet. Druckgeräte mit dem spezifischen Design zur Herstellung von Hörgeräten und Dentalapplikationen sind schon lange marktüblich, und der Trend wird sich mit der Verfeinerung der additiven Technologie fortsetzen.

3.1.4 Einsatz poröser Materialien

Lasersintering und der dreidimensionale Druck (3DP) sind Verfahren, bei denen Werkstoffe in Pulverform eingesetzt werden. Somit eignen sie sich besonders, um poröse Teile herzustellen.

3.1.4.1 Filter

Ein typisches Beispiel für Bauteile, die porös sein müssen, sind Filter für Gase und Flüssigkeiten. Abgesehen davon, dass ursprüngliche Versuche, große Keramikfilter für Kohleheizkraftwerke mittels dreidimensionalem Druck zu konstruieren, scheiterten, gibt es eine ganz Reihe anderer Filterapplikationen für 3DP und ähnliche additive Technologien, die sicherlich den Sprung zur Marktreife schaffen werden:

- Durch 3DP können komplexe Filtersysteme hergestellt werden, die Unreinheiten in der Atmosphäre beim Bau von Halbleitern absaugen.
- Stereolithografie ist eine immer beliebter werdende Methode, Keramikfilter herzustellen, die beispielsweise für geschmolzene Metalle beim Gussprozess für Raumfahrzeugelemente einsetzbar sind.
- 3DP kann auch bei der Herstellung von Nassentstaubern angewendet werden, mit denen CO₂ aus Kraftwerkemissionen entfernt wird.

- Lasersintering kann bei der Herstellung von Filtern eingesetzt werden, die für explosionssichere elektrische Abkapselungen gebraucht werden. Diese Filter erlauben eine sichere Abkühlung der Innenteile in gefährlichen Umfeldern.

Eng mit der Herstellung von Filtern verwandt ist die an Bedeutung gewinnende Applikation additiver Herstellung für Reaktionsgefäße, Katalysatorträger und ähnlicher Teile für die produzierende chemische Industrie.

3.1.4.2 Gasakkumulator-Zellen

Die Bestandteile unter Druck stehender Gasakkumulator-Systeme sind porös und haben viel mit der Struktur von Filtern gemeinsam. Im Blickpunkt der Forschung stehen Applikationen wie zum Beispiel Kraftstoffdepots für wasserstoffangetriebene Fahrzeuge. Die Depotsysteme können durch Lasersintering hergestellt werden. Dabei wird in der Branche berichtet, dass Lasersintering für die Herstellung von Depotteilen einen wesentlichen Vorteil bietet, da man die Teile so entwerfen kann, dass übergreifend katastrophale Fehlerfolgen beim Versagen einzelner Depots verhindert werden können.

3.1.4.3 Batterien und Kraftstoffzellen

Da Batterien strukturell in der Regel im Schichtverfahren hergestellt werden, wird diesem Bereich eine besonders hohe Aufmerksamkeit gewidmet. Durch additive Herstellung kann die Porosität kontrolliert abgestimmt werden und bietet dadurch erhöhte Festigkeit sowie einen effizienteren Arbeitsablauf.

Die Entwicklungsarbeit schreitet im Eiltempo voran. So testet zum Beispiel der Batteriehersteller A123 Systems, Inc. (Massachusetts, USA) derzeit die Möglichkeit, 3DP-Techniken zur Herstellung von Elektroden und Batteriebauteilen mit sehr hoher Volumenleistungsdichte für den Automobilsektor einzusetzen.

Auch kleine Batterien werden nicht außer Acht gelassen. Additive Herstellung ist hier schon für die Produktion von Alkali-, Lithiumionen- und anderen Arten von Mikrobatte rien angewendet worden.

Integrierte Baugruppen von Luft-Zink-Batterien und elektromechanischen Apparaten sind auch schon produziert worden, wobei der Großteil der Entwicklungsarbeit noch im universitären Bereich stattfindet. Die Kommerzialisierung wird hier jedoch nicht lange auf sich warten lassen.

Eine wichtige Rolle spielen die additiven Technologien in der Entwicklung von Brennstoffzellen, und zwar über eine breite Reichweite von Applikationen. Vor allem General Motors ist hier sehr aktiv in der Entwicklung von Brennstoffzellen für die Autoindustrie und bedient sich der additiven Herstellung direkt oder in verwandter Form sowohl für strukturelle, als auch aktive Komponenten.

3.1.4.4 Poröse Maschinenteile und andere Produkte

Trotz der konstanten Medienaufmerksamkeit, geschürt durch immer neue Innovationen, Produktverbesserungen und Applikationsmöglichkeiten, ist eine Vorhersage, ob additive

Technologien eine vorherrschende Rolle einnehmen werden, oder sich auf bestimmte Bereiche konzentrieren, bislang noch nicht möglich.

Sicher scheint, dass die Technologien zunächst in die „Zauberkästen“ der Ingenieure wandern, und zwar als „Tricks“, die in Form von alternativen Applikationsmöglichkeiten „aus dem Hut“ gezogen werden, um Beobachter und Interessenten zu beeindrucken.

Dazu einige Beispiele:

Das kanadische Großunternehmen Mold-Masters Ltd. hat 2007 etliche Patente für die Anfertigung von beheizten Druckluftverteilern, Zerstäuber-Düsen und ähnlichen Komponenten beim Einsatz von Injektionsformgebung registriert.

Die Bauteile werden unter anderem mit Metallpulverpartikeln hergestellt und dann mit thermisch leitfähigen Materialien behandelt. Hier erreicht die additive Herstellung eine höhere Funktionalität, als dies durch herkömmliche Verfahren möglich ist.

Japanische Forscher haben das Lasersintering genauer untersucht, und dabei die Möglichkeit entdeckt, poröse Aluminiumteile mit guter dimensionaler Präzision herstellen zu können. Die angedachten Einsatzmöglichkeiten beinhalten unter anderem Wärmeaustauscher, Dämmstoffe sowie Stoß- und Vibrationsdämpfer.

Die Penn State Research Foundation (Penn State University, USA) hat gemeinsam mit dem Ingenieurbüro Storm Development LLC (USA) das 3DP-Verfahren zur Formung von Silikon-Karbid-haltigen (d. h. hartmetallhaltigen) Wärmeaustauscherblöcken untersucht. Die Entwicklung wird höchstwahrscheinlich bei der Verbesserung von Hochofenanlagen im Stahl- und Aluminiumbau, aber auch in der chemischen Industrie zum Tragen kommen.

Die Firma Saint-Gobain Abrasives GmbH (Deutschland) hat Patentrechte für eine fortgeschrittene Methode zur 3DP-Herstellung von Schleifmitteln erhalten. Scheuerpulver und Bindemittel zur Herstellung der steinartigen Schleifmittel werden über eine Kassette zugeführt und erlauben somit einen einfachen und staubfreien Säuberungsprozess für die Produktionsanlagen. Laut Saint-Gobain Abrasives biete sich das System für komplexe Produkt-Geometrien an, die ansonsten nicht herstellbar wären.

3.2 Anwendungsfelder heute

3.2.1 Werkzeugbau im produzierenden Gewerbe

Teile, die durch das additive Verfahren hergestellt werden, bieten vermehrt die Basis für das Rapid Tooling. In der Tat spielt das Rapid Tooling eine besondere Rolle im Rapid Manufacturing und hatte seit Beginn seiner Anwendung einen starken Einfluss in diesem Marktsegment. Durch das additive Verfahren wird üblicherweise eine positive oder negative Vorlage zur Generierung von Injektionsformenbau, Feingussformung oder anderem Werkzeugbau für kurz bis mittelfristige Produktionszyklen gestaltet.

Aus diesen Verfahren leiten sich eine Reihe von Technologien ab, mit denen man den Transfer von Vorlagen/Mustern aus Plastik oder anderen weichen Materialien zu Hartme-

tallteilen beziehungsweise -produkten bewerkstelligt. Mit einigen dieser Methoden ist es sogar möglich, Metallteile und Werkzeuge direkt herzustellen, wenn auch nicht mit der gleichen Fertigungspräzision und Belastbarkeit, die (immer noch) mit subtraktiven Fabrikationsverfahren erreicht wird.

Durch Lasersintering kann man Metallteile herstellen, die nahezu mit vollständiger Feststoffdichte „geschmolzen“ (Sintern) werden können und deren Präzisionsdurchdringung im Endergebnis konventionell hergestellten Werkstücken gleichgestellt ist.

Dieser Ansatz wird zum Beispiel von der Firma 3D Systems in den USA für ein direktes Metallherstellungsverfahren eingesetzt. Dem gegenüber hat die deutsche Firma EOS GmbH einen Lasersintering-Prozess entwickelt, durch den man Metallteile direkt, mit fast vollständiger Feststoffdichte herstellen kann.

Während die Auswahl an Legierungen limitiert ist, besteht dennoch die Möglichkeit, durch Injektions-Formgebungswerkzeuge (Injection Molding Tools) hunderttausende von Teilen über das Lasersintering herzustellen.

Fazit: Das Erreichen von immer mehr Präzision, von verfeinerten technischen Voraussetzungen und der Erfüllung hoher Materialanforderungen hat das Lasersintering-Verfahren in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund gerückt.

Variationen des Lasersintering-Verfahrens sind mittlerweile verfügbar, insbesondere in Europa. Durch Selektives Laserschmelzen (Selective Laser Melting) und Elektrostrahl-Schmelzen (Electron Beam Melting) werden mittels Pulverpartikelmaterial Bauteile mit vollständiger Feststoffdichte hergestellt.

Die Laser-Powder-Forming-Technologien sind auf dem Vormarsch. Hierbei handelt es sich um die Zuführung von Metallpulverpartikeln in einen Laserstrahl, unter dem sie schichtweise verschmolzen werden. Über den Einsatz von Robotik im Verbund mit exakt kontrollierbaren Bauplattformssystemen kann das so geführte Auftragen von Material für die Herstellung von übergroßen Teilen und Werkzeugen eingesetzt werden.

Was vor Jahrzehnten „versteckt“ in behördlichen Labors und öffentlichen Universitäten begann, wird nun auf breiter Basis, insbesondere in den USA, Europa und China, kommerziell angeboten.

3.2.2 Vorrichtungs- und verwandter Fertigungsbau

Eine der Hauptapplikationen bei der additiven Herstellung findet im Bereich des Vorrichtungs- und verwandten Fertigungsbau statt. Als klassisches Beispiel hierzu ist die Boeing Company zu nennen, die besonders bei der Applikation additiver Herstellungsverfahren im Fabrikraum aktiv ist.

Bohrvorrichtungen für die akkurate Lochplatzierung in Flügeln, Vorrichtungen für Verbundeinlagen, ultraschallbasierte Inspektionsanlagen und Sprühsysteme für das genaue Auftragen von Klebemitteln sind nur einige der Möglichkeiten.

Viele andere Unternehmen haben die Vorteile additiver Herstellung erkannt, um ihren gesamten Herstellungsprozess zu unterstützen. Dabei führt die Applikationsreichweite

von Stützvorrichtungen für medizinische Kleinstteile bis zu Nutzhandschuhen für die Inspektion von Autolacken.

Als bislang führender Hersteller additiver Produktionsverfahren hat die Firma Stratasys in ihrem jüngsten Geschäftsbericht bekanntgegeben, die potenziellen Applikationen für Vorrichtungs- und verwandten Fertigungsbau seien so vielseitig, dass dieser Sektor zum größten Antreiber für das mittelfristige Unternehmenswachstum werden wird.

3.2.3 Stromerzeugung

Ein Bereich, in dem die additiven Technologien eine zunehmende Applikationsbreite erfahren werden, ist bei der Herstellung von Stromerzeugungsanlagen. Die hier gebauten Turbinen sowie dazugehörigen Komponenten stehen grundtechnologisch der Herstellung von Flugzeugtriebwerken gleich.

Die Bauteile sind geometrisch komplex und fordern strenge Einhaltung spezifischer Materialeigenschaften. Der Stromerzeugungssektor kann von additiven Technologien durch möglich gemachte Leistungssteigerungen und Kostensenkungen profitieren; das bezieht sich insbesondere auf den 3D-Druck von Bauteilen wie Kühlungskanäle, Neigungsobjekte sowie auf die Fähigkeit, komplexe Baugruppen in einem Stück fertigen zu können.

Wie in der Raumfahrt- und Medizinbranche, handelt es sich hier um hochwertige Teile, die in relativ kleinen Auflagen hergestellt werden – eine perfekte Einsatzmöglichkeit für die additive Herstellung.

3.2.4 Robotik und 3D-Druck

Sowohl einzelne Robotik-Bauteile, wie auch komplettete Robotik-Systeme werden aus Sicht der additiven Herstellungsindustrie als ideale Kandidaten für Applikationsinnovationen gesehen.

Zwar ist hier die strenge Einhaltung von speziellen Materialeigenschaften, wie beim Turbinenbau, nicht ganz so wichtig. Additive Technologien eignen sich dennoch für diesen Bereich, weil die Robotik-Struktur in der Regel kompliziert ist und Roboter meist nur in kleiner Stückzahl benötigt werden.

Ein Beispiel:

Die Entwickler Objet ConnexTM (inzwischen Teil von Stratasys) haben die Vorteile der sogenannten Multi-Material Technology genutzt, um Greifer für Roboter sowohl mit festen wie beweglichen Bauteilen auszustatten.

3.2.5 Wärmeaustauscher und Klimaregler

Wärmeaustauscher und Klimaregler werden insbesondere in der Elektronik- und Raumfahrtindustrie eingesetzt. Die Größenordnung dieser Bauteile umfasst kleine Geräte zur Kühlung integrierter Schaltungen, bis hin zu riesigen Applikationen für Kraftwerke.

Durch die Möglichkeit, komplexe und einzigartige Geometrien in einem Stück zu gestalten, spart man die Kosten eines ansonsten aufwendigen, konventionellen Zusammensetzens. Dadurch ist eine rege Nachfrage nach additiven Technologien entstanden, um die thermische Leistungsfähigkeit von Bauteilen in vielen Anwendungsbereichen zu verbessern.

Auch beim konturnahen Kühlungssystembau ist man nicht mehr auf Injektionsguss-Applikationen angewiesen. Durch die geometrischen Formgebungsmöglichkeiten der additiven Technologien profitieren besonders folgende Industriezweige: Motorenbau, Generatoren- und Aggregatebau in der Elektronik sowie Teilebau in den Automobil- und Raumfahrtbranchen. Spezielle Kühlungskanäle und Durchflüsse werden bereits als Bestandteil von Abdeckungen für elektronische Systeme durch additive Verfahren produziert.

3.2.6 Luft- und Raumfahrt

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, war die Luft- und Raumfahrtindustrie einer der ersten Anwender additiver Herstellungsverfahren. Flugzeugteile werden in kleinen Mengen hergestellt und müssen strenge Materialanforderungen erfüllen. In dem Luft- und Raumfahrtsektor ist die Funktionalität fast immer wichtiger als der Preis. Gerade weil in diesem Bereich mit hochwertigen Bauteilen gearbeitet wird, eignet sich der Einsatz additiver Herstellungsverfahren umso mehr.

Der Einsatz additiver Technologien ist für deren Fortschritt und Weiterentwicklung in diesem Bereich von einer interessanten Synergiewirkung geprägt. Es sind die Anwender in der Luft- und Raumfahrtindustrie selbst, die den Technologiefortschritt vorantreiben. Sie verbessern Systeme und Materialien, um ihren speziellen Ansprüchen gerecht zu werden, insbesondere bezogen auf Metallteile. Diese Fortschritte werden früher oder später auf andere Industriezweige übergreifen.

3.2.7 Kraftfahrzeubau

Für Fahrzeugsportbegeisterte ist es nachvollziehbar und typisch, dass (Neu-)Entwicklungen, die zunächst auf der Rennbahn in Erscheinung treten, ihren Weg in die kommerzielle Automobilgemeinschaft finden. Gleichwohl ist es kaum verwunderlich, dass die additive Herstellung für Applikationen in der Automobil- und Motorradherstellung eine große Zukunft zu erwarten hat, zumal der Bereich der Formel 1 während der letzten Jahrzehnte immer abhängiger von additiven Technologien geworden ist; inzwischen gilt dies auch

für den Motorradrennsport. Diese von hohem Wettbewerb geprägten Bereiche profitieren von minuziösen Modifikationen und Variationen, die den Unterschied zwischen Sieg und Niederlage bedeuten können.

Der Einsatz von Windkanälen und Prototyp-Bauteilen wurde rasch von der Herstellung rennfahrttauglicher Bauteile gefolgt. Additive Herstellung hat in diesem Bereich inzwischen seinen festen, nicht wegzudenkenden Platz. Selbst die Trophäen werden mittels additiver Technologien hergestellt!

Natürlich sind die Erfordernisse von spezialangefertigten Komponenten und einer sehr schnellen Verfügbarkeit nicht mit den Anforderungen eines normalen Auto- oder Motorradfahrers vergleichbar. Dennoch gibt es Stimmen, die ein hohes Marktpotenzial bei der individualisierten Fertigung von Autositzen, Lenkräder, Gangschaltungsköpfen und Handbremsen sehen.

Zum Beispiel können maßgefertigte Autositze höheren Komfort, weniger Übermüdungsanfälligkeit und mehr Sicherheit bieten. Die Positionierung von Abluftführungen am Armaturenpult kann vom Käufer selbst gestaltet und über den örtlichen Autohändler bestellt werden. Ob individualisierte Sitze einem anderen (Mit-)Fahrer den gleichen Komfort bieten, oder die selbstgestaltete Abluftführung nicht die frische Frisur zerzaust, sind andere Fragen. Fest steht zunächst: Gewisse Ecken und Kanten bei personalisierten Kraftfahrzeugen sind noch zu beheben. Fest steht allerdings auch: Solange es ausreichend Menschen gibt, die sich Bentleys leisten können, solange wird es Weiterentwicklungsarbeit in diesem Marktsegment geben.

3.2.8 Schiffsbau

Schon seit Beginn des Rapid Prototyping war eine der Zielsetzungen, Ersatzteile für Schiffe der Marine im Einsatz auf hoher See verfügbar zu machen.

Die Applikationen der additiven Herstellung im Schiffsbau haben gewisse Ähnlichkeiten mit der Luft- und Raumfahrtindustrie, ebenso mit architektonischer Bauweise.

Erste Versuche beim Auftragsschmelzen haben diese Applikation teilweise vorangetrieben. Jedoch haben Laser-Powder-Formgebungstechnologien (Pulverpartikelformgebung mit Laser) die größere Aufmerksamkeit gewonnen.

Wasserkraftfahrzeuge werden, wie Luftfahrzeuge, in relativ kleinen Stückmengen hergestellt und können aus geometrisch komplexen Teilen bestehen. Auch wenn die Bauteile teuer sind, ist ihre Hochwertigkeit im Vergleich zum Flugzeugbau um ein Wesentliches geringer. Das Schiffsbausegment bietet langfristig signifikante Möglichkeiten für additive Technologien, auch wenn der Entwicklungsschub nicht den gleichen Marktantrieb erfährt, wie es zurzeit immer noch in der Luft- und Raumfahrtindustrie der Fall ist.

Die Baugruppenfertigung über additive Technologien für die Herstellung ganzer Schiffskörper und Großbauteile wird geprüft. Spezialwerkzeugtechnologien für Großkörper werden entwickelt, was wiederum dazu führt, dass andere Branchen, die sehr große Teile fertigen, davon profitieren, zum Beispiel bei der Konstruktion von Windrad-Blät-

tern. Ferner bieten sich Methoden, Großwerkzeuge herzustellen, die maschinelle Bearbeitung und Materialverbrauch minimieren und die Montage auf Bausteinbasis ermöglichen.

Der in Europa größte Händler von Sportboot- und Yachtzubehör Osculati SpA (Italien) bietet seit 2012 Bootsbauern und Werften als Sonderdienstleistung die Herstellung von Spezialteilen über 3D-Druck Fertigung an. Wenn es im Schiffsbau einen Bereich gibt, der von Applikationen für die additive Herstellung von einzigartigen, funktionalen und sehr teuren Bauteilen am ehesten profitieren kann, dann ist es der Yachtbau.

3.2.9 Architektur und Gebäudebau

Architektonische Applikationen für additive Herstellungsverfahren umfassen die Gestaltung von Modellen, die Herstellung von gesonderten und optimierten Gebäudeteilen, bis hin zum Druck ganzer Häuser.

Es gab Zeiten, in denen belächelte man Architekten als notorisch langsam beim Einsatz computergesteuerter Hilfsmittel. Inzwischen ist die „bleistifttreue“ Generation von einer jungen und innovativen Generation ersetzt worden. Computer sind nunmehr nicht nur ein natürlicher Teil der Ausstattung, sondern ein unverzichtbares Werkzeug zur freiförmigen Gestaltung, die immer häufiger eingesetzt wird und ein festes Element im Architekturlexikon geworden ist.

Traditionell kosten architektonische Modelle mehrere zehntausend Euro und bedeuten hunderte geleistete Arbeitsstunden. Mit neuen Programmen zur virtuellen Computersimulation kann man Erhebliches zur physischen Visualisierung von Modellen erreichen. Dennoch gibt es im Laufe eines Projektes immer eine Phase, die den Bau eines physischen Modells erfordert. Bauaufsichtsbehörden, Bauherren unter anderem brauchen physische Modelle, um ein Verständnis für die Konstruktion zu entwickeln, bevor sie Entscheidungen treffen. Vgl. Abb. 3.3

Der Modellbau durch 3D-Druck bietet einige Vorteile: Ein Modell kann mehrfach ausgedruckt werden und Nachbesserungen, Variationen oder Anpassungen können schnell und kostengünstig umgesetzt werden. 3D gedruckte Modelle sind zudem stabiler und länger haltbar als ihre „Papp-Kollegen“.

Obwohl gute Fortschritte, insbesondere bezogen auf die ästhetischen Aspekte, gemacht wurden und die Verzahnung von Additive-Manufacturing-Software (AM-Software) mit Computer-Aided-Design-Software (CAD-Software) schon seit Langem verfügbar ist, ist die Herstellung von Modellen mittels additiver Verfahren noch lange nicht zur Routine geworden. Spezialwissen und gute Vorbereitung sind notwendig, um zum gewünschten Ergebnis zu kommen.

Das sogenannte Contour Crafting (CC) – schon seit Längerem ein Entwicklungsschwerpunkt an der University of Southern California – ist die Technologie erster Wahl für die Konstruktion von Gebäuden auf den Planeten Mond und Mars. Fließgepresstes (extruded) Material wird zum schichtweisen Bau bandförmig über Düsen aufgetragen und baut das Objekt (z. B. eine Wand) sukzessive auf. Das Herstellungsverfahren ist dem Fu-

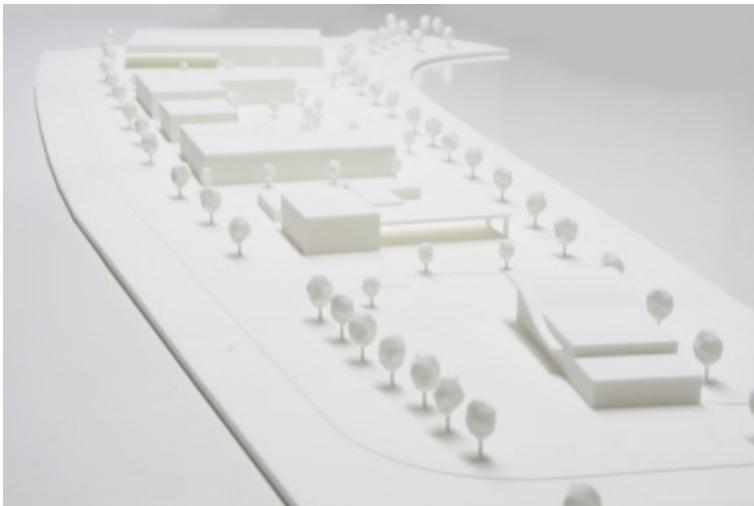


Abb. 3.3 Modell eines Gewerbegebietes aus dem 3D-Drucker; Länge circa 120 Zentimeter, Kunde Bayerische Wohn- und Gewerbebau GmbH (www.bayerischebau.de). (Quelle: Core Consulting GmbH)

sed Deposition Modeling gleichgestellt. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass der aufgetragene Werkstoff nicht thermisch, sondern chemisch härtet.

Die Vorteile des Additive Manufacturing sind für diesen Sektor offensichtlich. Doch wird diese Technologie ihren größten Erfolg zunächst auf der Erde erleben, lange bevor sie im Weltall angewendet wird. Die Fähigkeit, neue Formen mit freier (freeform) Gestaltung zu konstruieren, könnte den Bedarf an Arbeitskräften drastisch reduzieren. In Kombination mit Applikationen für die Robotik wird es möglicherweise massive Verschiebungen, wenn nicht Paradigmenwechsel, innerhalb der Jahrzehnte alten (traditionellen) Prozesse geben.

Komponenten wie Kanäle für öffentliche Bedarfseinrichtungen und Armierungen im Hochbau können hier automatisch in die gedanklichen Möglichkeiten einbezogen werden. Sicher ist, dass der Bau fast schlüsselfertiger Wände und ähnlicher Flächen schon bald zum Standardangebot additiver Herstellung in der Industrie gehören wird.

Baugenossenschaften in allen Industrieländern werden zunehmend besorgt reagieren. In den USA ist beispielsweise die Entwicklungsarbeit der University of Southern California auf dem besten Weg, kurzfristig den Einstieg in die Kommerzialisierung dieser Technologie zu finden.

Auch in Europa sind einige Unternehmen in Begriff (allen voran die Firma dshape in Italien), große Objekte mit riesigen 3D-Druckern zu erbauen. Hierbei lehnt man sich an das von dem Massachusetts Institute of Technology entwickelte 3D-Druck-Verfahren an, bei dem eine mit speziellen Pulverpartikeln gefüllte quadratische Wanne mit gezielt eingespritztem Binderstoff die Formgebung leistet.

Anschließend wird das Restpulver weggeblasen und das fertige Objekt freigelegt. Das Verfahren wurde bereits mit kleineren Modellen an einigen Messen vorgeführt.

3.2.10 Chemische Anwendungen

Die Generation von Reaktionsgefäßen, Katalysatorträgern und ähnlichen Komponenten für die industrielle chemische Produktion gehört zum Bereich der Applikationen, bei denen die additive Herstellung an Wichtigkeit gewinnt. Es ist durchaus denkbar, dass Additive Manufacturing hier eine zunehmend tragende Rolle spielen wird.

Additive Manufacturing eignet sich hier vor allem deshalb, weil es die Anforderungen für komplexe Geometrien erfüllt, was die Zusammensetzung einer Feinstmischung von Werkstoffen und dadurch optimierte Produktionsabläufe ermöglicht.

Verbesserte technische Ausstattungen und neue Versuchsreihen werden sicherlich eine breite Palette neuer Anwendungsmöglichkeiten für die chemische Industrie von morgen liefern, auch bezogen auf chemikalische, pharmazeutische und biologische Stoffe.

Das Anwendungsspektrum ist schon jetzt richtungsweisend für die Entwicklung additiver Verfahren zur Fertigung von Teilanlagen wie Mikrowellen-Hitzeverteilern (im Bereich des Hohlgefäß- und Druckbehälterbaus) und Verarbeitungsventilen.

Hier noch einige Beispiele aus der Praxis:

Die Firma LMP Industries, Inc. (USA) untersucht gerade die Möglichkeit, Laminated Object Manufacturing für die Produktion von chemischen Prozessgeräten einzusetzen. Zu den möglichen Applikationen gehört die Herstellung von Medikamenten, Brennstoffzellen und Kraftstoffen.

Eine Technologie für ausgezeichnete Materialvermischungen, mit einer Viskositätsleistung (Flüssigkeitsgrad), die um das Zehnfache feiner als konventionelle Mischungen ist, wird von der Firma TIAx, LLC untersucht. Für die zum Einsatz kommenden additiv hergestellten chemischen Reaktoren bieten sich Applikation in der Pharmaindustrie an.

Die Firma Corning Inc. benutzt Lasersintering für die Fabrikation von Brennelementen zur Produktion von Metalloxidruß. Der Ruß wird zur Herstellung von Muldenöfen, Linsen, Rohrleitungen und dergleichen verwendet. Ein dreidimensionaler Metall- oder Keramik-Brenner ist gegen Hitzeschock resistent und gewährleistet einen gleichmäßigen Strom von Reaktionsmitteln.

3.2.11 Instrumentenbau für die Chemie

Bisher war die Rede vom Einsatz additiver Technologien zur Herstellung von Chemikalien. In der chemischen Industrie tangiert Additive Manufacturing einen zusätzlichen wichtigen Bereich: den Einsatz von Messgeräten.

Die Presse berichtet, dass es eine ganze Reihe von Entwicklungen gibt, mit dem Ziel, den Instrumentenbau von bislang massigen, feststehenden Partikel-Messgeräten durch

Miniaturisierung zu optimieren, zum Beispiel um dem Sicherheitspersonal eines Chemieunternehmens die Möglichkeit zu geben, mit portablen Messgeräten „ihre Runden zu drehen“.

Im Folgenden einige Beispiele für den Einsatz additiver Technologien in diesem Bereich:

Ein Spektrometer zur Messung von Ionenbeweglichkeit wurde von der Firma Owlstone Ltd. (UK) entwickelt. Das Gerät wurde mit der MICA-FreeformTM-Technologie von Microfabrica konstruiert und wird zur Messung von explosiven Kleinstpartikeln und zur Feststellung der Beschaffenheit von Drogen eingesetzt.

Stereolithografie könnte bei der Firma Sierra Instruments (einem Hersteller von Messinstrumenten in den USA) für den Filterbausatz bei der Montage einer Inertialmessungs-Mikrowaage zum Einsatz kommen. Aerosole werden aus der Luft durch einen Filter gesogen, der so befestigt ist, dass er das Ende eines winzigen schwingenden Lichtstrahls berührt. Die Veränderungen der Resonanzfrequenz des Lichtstrahls verhalten sich proportional zu den angesaugten Partikeln.

Das in Troy, New York, ansässige Rensselaer Polytechnic Institute entwickelt gerade ein ferngesteuertes Explosionsdetektionssystem, bei dem additive Technologien zur Fertigung komplexer Gehäuseelemente für die Einfassung hochempfindlicher Messkomponenten eingesetzt werden.

3.2.12 Werkzeugbau (Rapid Tooling)

Rapid Tooling war die erste, wenn nicht sogar wichtigste Applikation für die additive Herstellung. Wie bei vielen additiven Herstellungsverfahren zeigt sich auch im Rapid-Tooling-Sektor die Zwiespältigkeit bezogen auf den Stand der Technik.

Auf der einen Seite: Rapid Tooling bietet drastisch gekürzte Fabrikationszeiten und somit klare Kostenvorteile. Bei hochwertigen Applikationen, wie zum Beispiel der Herstellung von Spritzgießformen, werden von der Industrie Kosteneinsparungen zwischen zehn bis 25 % zitiert, die auch darauf zurückzuführen sind, dass Produktionszeiten tatsächlich um Monate gekürzt werden, die ansonsten für die Beschaffung von Teilen angerechnet werden müssen. Ebenso schaffen die Weiterentwicklung zur Optimierung von Verfahren und die Möglichkeit, mehrere Materialien zusammenführen zu können, in der Regel eine Durchlaufverbesserung der Formen um 20 bis 30 %.

Auf der anderen Seite: Rapid Tooling erfordert immer noch den Einsatz von CNC-Endbearbeitung, um mangelhafte Fertigstellung und Ungenauigkeiten auszugleichen. Relativ oft werden Sekundärschritte wie Sinterung und Anreicherungen notwendig, die wiederum zeitaufwendig und schmutzerzeugend sind. Zudem eignen sich nicht alle Rapid-Tooling-Technologien zur Produktion hochwertiger Massenfertigung, weil Materialauswahl und -eigenschaften sehr unterschiedlich sein können und man sich spezifischen Anforderungen noch nicht problemlos anpassen kann.

Es steht wohl außer Frage, dass die Einbindung des Rapid Tooling für die traditionell betonte Industrie einen zunehmend bedrohlichen Charakter annimmt. Dadurch angescürt, hat es eine Ankurbelung von Verbesserungen im Hochgeschwindigkeitsmaschinenbau verursacht und die traditionellen subtraktiven CNC-Technologien wettbewerbsfähig gehalten.

Verfeinerungen und Vereinfachungen haben insbesondere den Spritzgussformenbau vorangebracht. Durch das sogenannte Rapid Injection Mold (Formgebungs-)Verfahren sind inzwischen konventionelle Technologiedienstleistungen möglich, die vorher ausschließlich dem Rapid Tooling zugeordnet waren.

3.2.13 Medizinische Applikationen

Die additiven Methoden finden im medizinischen Bereich vermehrt Anwendung bei der Herstellung von chirurgischen Verfahrensplanungen. So können Chirurgen gebrochene oder deformierte Knochen ihrer Patienten künstlich rekonstruieren, um über das gefertigte Modell Optimierungsverfahren und Interventionsprozeduren zu analysieren.

Ähnliche Vorgehensweisen werden auch bei der dentalen Rekonstruktionstechnologie und bei der Entfernung von Tumoren angewendet. Im letzteren Fall wird durch photopolymere Harze bei der Konstruktion von stereolithografischen Modellen Farbgebung eingesetzt, um den genauen Standort eines Tumors lokalisieren zu können.

Im Bereich der Prothesenherstellung haben die additiven Technologien infolge des speziellen Bedarfs einen starken Einfluss gewonnen. Gerade hier ist die Möglichkeit, Prothesen für Patienten passgenau, schnell und relativ kostengünstig herzustellen ein enormer Vorteil.

Verfahren für Medikamentendosierungen, die unter herkömmlichen Methoden nur sehr aufwendig oder gar nicht eingesetzt werden können, werden mit additiver Herstellung nun möglich. So kann man inzwischen Medikamente mit genau abgestimmten und komplexen Auflösungs- und Wirkungsphasen beziehungsweise mit Sofortwirkung herstellen. Dabei eröffnen sich interessante neue Möglichkeiten, zum Beispiel bei der Kombination eines Medikamentes mit einem anderen Stoff, bei dem der Zusatzstoff die Nebenwirkungen des Hauptstoffes neutralisiert. Hierdurch können Medikamente effektiver und sicherer zusammengesetzt werden, ganz zu schweigen von dem wirtschaftlichen Vorteil, den die Pharmaindustrie durch derartige innovative Dosierungstechnologien erfährt.

3.2.14 Medizinische Geräte

Die Herstellung von Flächenrastern, Kollimatoren und verwandten Teilen für Magnetic Resonance Imaging (MRI; magnetische Kernresonanztomografie), CAT-scans (Computertomografie) und andere medizinische Scanning-Systeme ist ein großes Entwicklungsfeld für additive Herstellungsverfahren geworden.

Hinter der Generierung von Strahlenabbildungen steht eine komplexe Geometrie an Bauteilen, wie zum Beispiel Kollimatoren, für die sich Lasersintering und ähnliche Verfahren hervorragend eignen.

Beim Scannen mit Magnetsystemen wird der Einsatz additiver Verfahren für die hier sehr komplex verlaufenden Kühlungskanäle in Betracht gezogen sowie für das passgenaue Trimmen der Magnetspulen, um gleichbleibende magnetische Felder zu gewährleisten.

Durch Elektronenstrahlschmelzen können die Oberflächen der anodenseitigen Röntgenstrahlelemente repariert werden. Dabei wäre es möglich, einen dreidimensionalen Scan vorzunehmen, die Fehlerquellen zu orten und anschließend entsprechende Reparaturfüllungen auszuführen.

Hochinteressante Entwicklungsarbeit wird zurzeit von der Firma Imperial Innovations Limited (Großbritannien) durchgeführt. Die Einzelteile werden zunächst durch additive Herstellung gedruckt. Mit dem fertig montierten Gerät kann der ganze Körper eines Patienten, oder beliebige Körperteile in einem MRI-Gerät manipuliert werden, ohne jegliche elektromagnetische Störungen zu verursachen (wie es bei der konventionellen Anwendung der Fall ist). Die Bewegung der manipulierbaren Teile erfolgt über ein komplexes Kupplungssystem, das von einem Luftpumpeantrieb angetrieben wird.

3.2.15 Phantomkörper-Bildgebung, anatomische Puppen und medizinische Modelle

Phantomkörper-Bildgebungen sind Vorrichtungen mit vorgegebenen Eigenschaften, die bei medizinischen Geräten zur Prüfung und/oder Kalibrierung eingesetzt werden und den Patienten „ersetzen“. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Geräte ordnungsgemäß funktionieren und genaue Ergebnisse liefern. Wegen der Möglichkeiten uneingeschränkter geometrischer Formgebung über Additive Manufacturing wird in diesem Bereich schon seit Jahren aktiv entwickelt.

Es bestehen zahlreiche Applikationsmöglichkeiten, die den Einsatz von hoch komplexen Phantomkörper-Bildgebungen erlauben. Man kann den ganzen Körper eines Patienten, beliebige einzelne Körperteile oder ganze physiologische Systeme simulieren.

3.2.16 Kunst

Additive Technologien werden von einer Reihe bekannter Künstler eingesetzt, um die Variation der Kunstobjektgestaltung zu erweitern. Bei abstrakter Kunstobjektgestaltung sind dem Künstler nunmehr keinerlei kreative Grenzen mehr gesetzt – und die Objekte können auf rein mathematisch-programmierter Basis entstehen. Für bestimmte Kunstobjekte wäre deren Schaffung ohne Rapid Prototyping nicht möglich gewesen.

3.2.17 Schmuck

Insbesondere die Schmuckindustrie hat von der additiven Technologie profitiert. Nennenswert sind die Unternehmen EnvisionTEC GmbH (Deutschland), EOS GmbH (Deutschland) und Solidscape (jetzt Teil von Stratasys, USA), die alle einen besonderen Fokus auf Schmuckherstellungsapplikationen legen.

Auch etliche Dienstleister und Universitäten legen hier Schwerpunkte.

Additive Technologien werden bei der Herstellung von maßgefertigtem Schmuck schon lange zur Fertigung von Formschablonen aus Wachs und ähnlichem Material eingesetzt, mit denen das Edelmetall gegossen werden kann.

Inzwischen kann Schmuck auch direkt über Lasersintering und Selective Laser Melting hergestellt werden; die Verfügbarkeit von pulverisierten Edelmetallen ist hierbei zurzeit noch begrenzt.

Auch nicht maßgefertigte Teile finden in der Schmuckindustrie Anwendung. Zum Beispiel sind Armbanduhrgehäuse trotz ihres einfachen Aussehens ein überraschend komplexes Teil. Durch additive Herstellung kann das Gewicht ohne Verlust von Festigkeit verringert werden. Ebenso entsteht kaum mehr Materialschwund und man erspart sich die Vielzahl der traditionell erforderlichen diskreten maschinellen Operationen.

3.2.18 Design

In den letzten Jahren lässt sich bei Designern eine Tendenz beobachten, mit der additiven Herstellung einer breiten Palette von Damenschuhen zu experimentieren.

Keines dieser Schuhdesigns ist praktisch – noch weniger brauchbar – auch wenn Models die additiv hergestellten Schuhe auf dem Laufsteg so mancher Modeschau an den Füßen tragen.

Es ist zweifelhaft, ob diese Designs einen „realen“ Bedarf finden. Am wahrscheinlichsten ist der mittelfristige Einsatz additiver Herstellung unter den Schuhherstellern für Ausschnitts-Fertigungen, zum Beispiel für Sohlen oder Ausschmückungen. Durch die Kombination mit traditionellen Herstellungsverfahren bietet sich die Möglichkeit, Komfort zu verbessern und persönlichen Geschmack zu bedienen.

In der Welt des Fashion Design schreitet man mutig voran. Der Lasersinter-Bikini ist da! Offensichtlich lässt der Komfort zu wünschen übrig und das Teil ist überteuert. Mit dem konventionellen Bikini kann eine Frau ihre Körperformen immer noch attraktiver und vor allem für den Hersteller „wirtschaftlicher“ darstellen.

3.2.19 Möbelstücke

Fast jeder Möbeldesigner, der die Möglichkeiten additiver Technologien kennlernt, scheint für das erste Projekt die Gestaltung einer Lampe zu favorisieren. Es gibt inzwi-

schen eine verblüffend hohe Anzahl an Lampendesigns, die neue geometrische Möglichkeiten der additiven Technologie unter Beweis stellen wollen.

Das inzwischen von 3D Systems übernommene Unternehmen Freedom Of Creation gehört zu den Pionieren dieses Design-Sektors und hat für regen Zulauf gesorgt. Man befindet sich hier allerdings insgesamt noch in der experimentellen Phase. Zu den Testobjekten für additive Herstellung gehören Stuhl- und Kaffeetischdesigns sowie eine Auswahl kleiner Haushaltsgegenstände wie Vasen, Dekorschüsseln und dergleichen.

Die Verfügbarkeit von Keramik und anderen ähnlichen Materialien macht es den Amateur- und Profidesignern möglich, mit festeren und beständigeren Baustoffen zu arbeiten, als dies mit traditionellen Verfahren möglich ist. Andererseits ist man sich – abgesehen von maßgefertigten iPad-Hüllen – in der Branche noch nicht einig, wo diese Technologie hinführt.

Man muss auch die zurzeit noch deutlichen Einschränkungen berücksichtigen. Während die Materialvielfalt zunimmt, sind die Endprodukte für Verbraucher mit einer ebenso hohen Vielfalt an Materialien aus unterschiedlichen Teilproduktionsprozessen vermischt. Die Technologie ist noch nicht soweit, alles „aus einem Guss“ über additive Verfahren anbieten zu können.

Die Objektdimension ist ebenso problematisch, denn die Mehrheit der Verbraucher wird in diesem Bereich nach Möbelstücken fragen, die (wesentlich) größer als eine Lampe sind. Und bei der „Lampe in einem Stück“ ist die additive Technologie an ihre Grenzen gestoßen – abgesehen von der Firma Materialise GmbH (Gilching b. München), die in der Lage ist, überdimensionierte Möbel- und Designobjekte zu drucken, dafür aber auch einen heftigen Preis verlangt. Nur als Beispiel: Wer ist schon bereit, sich für 350 US-Dollar einen Bleistift oder Papierhalter zu leisten? Maßanfertigung und der Reiz des Neuen sind sicherlich einen Aufpreis wert. Aber die meisten von uns werden sich wohl vorerst mit dem einfachen Bleistift oder Papierhalter begnügen.

3.2.20 Textilien

Sehr langfristig gesehen, könnte die additive Herstellung von Gewebematerial und Textilien mehrere Vorteile bieten: Accessoires wie Reißverschlüsse, Ösen und Gürtel könnten in gemeinsamer Produktion mit einem Kleidungsstück hergestellt werden, um Kostensenkungen oder einzigartige Designs zu realisieren. Vielleicht wird es möglich werden, ein Kleidungsstück sogar fertig gefaltet additiv zu produzieren, um auch bei Verpackung und Versand Kostenvorteile zu schaffen.

Eine der interessantesten Möglichkeiten ist die Herstellung von Textilien und Kleidungsdesigns, die so komplex und einzigartig sind, dass sie optisch unwiderstehlich werden. Der Kopierschutz ist ein bekanntes Problem bei den Designer Labels. Durch additive Herstellung kann möglicherweise ein Weg gefunden werden, viele Arten von Designgütern herzustellen, die unmöglich gefälscht werden können und Gütesiegel sogar noch aufwerten.

Ein eindeutig feststellbarer Trend bei der additiven Herstellung von Gewebematerial und Textilien findet sich in den medizinischen und industriellen Bereichen, zum Beispiel bei der Produktion von hochwertigen Katalysatorsubstraten und Wärmeaustauschern. Dieser Trend kann durchaus den notwendigen Anschub für Weiterentwicklungen in diesem Bereich bieten, die ansonsten nur schwerfällig vorankämen.

Erwähnenswert ist auch die Entwicklung militärischer Schutzbekleidung, die zwar weniger modebewusst, dafür aber „intelligenter“ ausgestattet ist. In das Gewebematerial direkt eingearbeitete Sensoren verschaffen dem Material eine eigene Intelligenz (Smart Material), mit der Überwachungs- und Kommunikationskomponenten gesteuert werden könnten, um Schutz gegen biologische und umweltbedingte Gefahren zu gewährleisten. Aktives Panzerungsmaterial könnte in die Bekleidung von Soldaten eingewebt werden, um die Belastungskraft gegen aufprallende Geschosse zu erhöhen.

In diesem Kapitel haben wir einige Anwendungsbeispiele aus dem 3D-Druck-Umfeld für Sie zusammengetragen. Die Beiträge kommen direkt von den Unternehmen und haben daher in manchen Fällen etwas Werbecharakter – aber „Klappern gehört zum Handwerk“ und es gibt wohl keine bessere Art und Weise, die vielfältigen Möglichkeiten des 3D-Druck-Verfahrens darzustellen als anhand von konkreten Beispielen.

Bei der Auswahl der Fallbeispiele habe ich versucht, vor allem die Themen darzustellen, die für Unternehmer relevant sind. Dabei habe ich sowohl Beispiele aus dem klassischen Prototypen-Bau als auch aus der inzwischen zunehmenden Serien- und Individualproduktion berücksichtigt und dabei Drucker aller Preisklassen zugelassen.

Eine der großen Herausforderungen bei der Beispielsammlung ist, dass sehr viele, sehr interessante Anwendungsbeispiele aus rechtlichen Gründen nicht veröffentlicht werden dürfen. Das liegt daran, dass Unternehmen, die 3D-Druck einsetzen, durch diese Technologie oftmals einen entscheidenden Marktvorteil errungen haben. Und diesen wollen sie natürlich so lange wie möglich aufrechterhalten. Gerade für die 3D-Druck-Dienstleister ist dies oftmals sehr ärgerlich, da ihnen somit ein Neukundengeschäft vorenthalten wird, und sich der Markt für 3D-Druck-Dienstleistungen langsamer als notwendig entwickelt.

4.1 Gewichtsoptimierte Bauteile für Luft und Raumfahrt

Als erstes Fallbeispiel beginnen wir mit einer in der Branche recht bekannten Studie der Firma EOS. Die Studie zeigt, wie durch 3D-Druck in Kombination mit „cleverem Design“ Kosten gespart werden können, Umweltaspekte positiv berücksichtigt werden und der 3D-Druck somit zunehmend zu einer konkurrenzfähigen Technologie werden kann. Weniger bekannt und umso beeindruckender ist die Tatsache, dass sogar hochfeste Bauteile aus Titan additiv gefertigt werden können.

Abb. 4.1 Untersuchte Bauteile: Grafik der konventionell im Stahlgussverfahren produzierten Halterung (links) und Halterung aus Titan, die mittels DMLS hergestellt wurde und über eine optimierte Topologie verfügt. (Quelle: EADS)



In der Luft- und Raumfahrt gilt wie in keiner anderen Branche: Gewichtsersparnis gleich Kostenersparnis. Anhand eines Türscharniers wird gezeigt, wie ein gewichtsoptimiertes Design mit dennoch höherer Festigkeit die herkömmlichen Scharniere ersetzen kann. Der Clou: Das Scharnierdesign kann nur additiv gefertigt werden.

So spannend die Erkenntnis ist, dass additive Fertigung sich möglicherweise alleine deswegen durchsetzen kann, weil viele interessante Bauteile anders kaum hergestellt werden können, so realistisch muss man auch die heutigen Herausforderungen einschätzen: Ingenieure und Designer müssen sich erst noch an die neuen Designmöglichkeiten gewöhnen und lernen, diese zu nutzen. Und, die mit der 3D-Druck-Technologie produzierten Bauteile müssen die gleichen Zertifizierungsprozesse wie ihre Konkurrenzbauteile erfolgreich durchlaufen – eine zeitintensive und kostspielige Angelegenheit.

Luft- und Raumfahrt: leicht, kosten- und ressourceneffizient – Untersuchung der Nachhaltigkeit des direkten Metall-Lasersinterns

Vgl. Abb. 4.1

Eine gemeinsam von EADS Innovation Works (IW) und EOS durchgeführte Studie zeigt Einsparpotenziale der Herstellungsprozesse in der Luft- und Raumfahrtindustrie.

In den letzten 40 Jahren haben sich die Problemstellungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie verlagert: Ging es früher vor allem um die einfache und sichere Personenbeförderung, zählen heute auch Aspekte wie Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz. Wo Dädalus und Ikarus noch Federn und Wachs genügten, um ihren Traum vom Fliegen zu verwirklichen, sind für die Entwicklung und Konstruktion moderner Luftfahrzeuge heute hoch entwickelte Methoden und Technologien erforderlich.

EADS IW, das technische Kompetenzzentrum von EADS, untersucht stets neue Wege, um Produktionsprozesse zu verbessern. Eines der jüngsten Aktivitätsfelder ist der Einsatz des Direkten Metall-Lasersinterns (DMLS) – eine Technologie, die EADS IW nutzt, um die Vorteile eines nachhaltigen Herstellungsverfahrens und von Bauteilen mit optimierter Konstruktion zu erforschen. Mit DMLS werden Prototypen von Bau teilen wie Landeklappenscharniere für Airbus produziert.

Herausforderung

Mit seiner Vision 2020 möchte EADS für das 21. Jahrhundert gerüstet sein. Neben Umweltaspekten als Schlüsselfaktoren zählen Nachhaltigkeit und Kostenreduzierung sowohl bei den Herstellungsprozessen als auch in der Betriebsphase der einzelnen Bauteile zu den Forschungsschwerpunkten. EADS IW als Kunde und EOS als Hersteller von DMLS-Systemen sind eine sogenannte Life-Cycle-Kooperation eingegangen. Die gemeinsame Studie gab ein besseres Verständnis für bestimmte Industrieanforderungen und einen Überblick über die technologischen Leistungen von EOS, was Qualität, Nachhaltigkeit und Umweltkriterien betrifft.

Da Qualität, Kosten und Umwelteffekte eine wesentliche Rolle bei der Entscheidung für Design- und Produktionslösungen spielen, definierte EADS IW neue Kriterien für den „Technology Readiness Level“ (TRL, dt.: „Grad der Bereitschaft für neue Technologien“) und setzte einen Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit. Der Bereich Forschung und Technologie muss bei der Luft- und Raumfahrtsparte von EADS neun TRL-Prozesse bestehen, bevor eine neue Technologie für die Verwendung in der Produktion als geeignet angesehen wird. Für jede TRL-Überprüfung wird ein bestimmter Reifegrade festgelegt; Kriterien sind Leistungsfähigkeit, Technik, Herstellung, Betriebsreife sowie Wertschöpfung und Risiken. In jedem dieser Kriterien müssen neue Komponenten existierende übertreffen.

Von der Studie wurde erwartet, dass CO₂-Emissionen verringert und eine höhere Energie- und Rohstoffeffizienz sowie ein optimiertes Recycling erzielt werden können. Die Analyse des Energieverbrauchs berücksichtigte neben der Produktionsphase auch Aspekte wie Beschaffung und Transport der Rohmaterialien, den Argon-Verbrauch für den Zerstäubungsprozess des Metallpulvers und das Gesamtabfallaufkommen währenddessen.

Lösung

Ein von EADS IW durchgeführtes „Streamline Life Cycle Assessment“ (SLCA, dt.: „Analyse der Umweltwirkungen von Produkten über die gesamte Lebenszeit hinweg“) zeigte unter anderem die potenziellen Vorteile der DMLS-Technologie hinsichtlich Kosten und Nachhaltigkeit während der Betriebsphase der Landeklappenscharniere des Airbus A320. EOS-Testergebnisse stützten die Daten von EADS IW und in einem weiteren Schritt auch Testergebnisse eines Rohstoffzulieferers (Metallpulver) – eine in dieser Ausführlichkeit bisher einzigartige Herangehensweise. Gemeinsam wurden die Informationen hinsichtlich der Umweltauswirkungen vertieft: Die neuen Scharniere sollten leichter sein, um den Energieverbrauch in der Einsatzphase signifikant zu senken.

Zunächst wurden die in Stahl gegossenen Scharniere mit den additiv gefertigten Teilen mit optimierter Konstruktion aus Titan verglichen. Messkriterium war der Energieverbrauch über die gesamte Lebensdauer. Mit DMLS konnte das optimierte Design umgesetzt werden – ein wichtiger Aspekt, da die Betriebsphase in der Regel hundert Mal so bedeutungsvoll ist wie die statischen Phasen (z. B. Herstellung des Teils). Der Energieverbrauch der Scharniere über ihre gesamte Lebenszeit einschließlich Herstel-

lungs- und Betriebsphase konnte um fast 40 % gesenkt werden, trotz des höheren Energieverbrauchs beim Herstellungsprozess.

Im nächsten Schritt wurden die „statischen Phasen“ ausgewertet. Der Herstellungsprozess des konventionellen Bauteils wurde mit dem des von EADS weiterentwickelten Scharniers aus Titan verglichen. Das neuartige Bauteil wurde zunächst im Feingussverfahren und dann mit einem EOS-System hergestellt. Der Gesamtenergieverbrauch für die Herstellung des Scharniers ist geringfügig niedriger, wenn vom Feingussverfahren auf die Anlage von EOS gewechselt wird. Der Vorteil der EOS-Technologie: Es wird nur so viel Material verwendet, wie für das Bauteil nötig ist. Der Materialverbrauch kann somit um bis zu 75 % reduziert werden.

Ergebnisse

Die Studie konzentrierte sich nur auf den Vergleich zwischen DMLS und Feinguss, die Frage der Skalierbarkeit muss noch untersucht werden. Die Zusammenarbeit hat dennoch einige beeindruckende Ergebnisse gebracht: Durch das optimierte Design der Landeklappenscharniere kann das Flugzeuggewicht um etwa zehn Kilogramm verringert werden. Das ist beachtlich, denn in der Luftfahrtindustrie zählt jedes Kilogramm. Außerdem wurden die CO₂-Emissionen um fast 40 % und der Verbrauch an Rohmaterialien im Vergleich zum Feingussverfahren um 25 % reduziert.

„DMLS bietet eine Reihe von Vorteilen, da es die Konstruktionsoptimierung und die anschließende Herstellung in Kleinserie unterstützen kann. Die gemeinsame Studie hat belegt, dass DMLS das Potenzial hat, zugunsten der CO₂-Bilanz leichte und nachhaltige Teile hervorzubringen“, sagt Jon Meyer von EADS IW. „Die Kooperation zwischen Kunde und Zulieferer ist bemerkenswert. Die offene Herangehensweise führte zu einem beispiellosen Informationsaustausch – eine neue Messlatte für zukünftige Studien über die Einführung und Implementierung neuer Technologien und Prozesse.“

Ein Teil des Projekterfolgs liegt in der unermüdlichen Suche nach Verbesserungen. Ein Beispiel dafür ist der Austausch der EOSINT M 270 durch die EOSINT M 280, die Titan statt Stahl verwendet und somit die CO₂-Emissionen senkt. DMLS hat das Potenzial, zur Senkung des Gewichts künftiger Luftfahrzeuge beizutragen. Die Rohstoffeinsparungen sind verbunden mit mehr Nachhaltigkeit unter Beibehaltung aller Sicherheitsvorgaben.

Vgl. Abb. 4.2

„Die Designfreiheit und ökologische Aspekte sind die ausschlaggebenden Vorteile des DMLS. Wie unsere Studie mit EOS gezeigt hat, können wir sowohl Strukturen verbessern und zweckbestimmte Funktionalität einbinden als auch die Ökobilanz signifikant verbessern.“

„Mit Blick auf Ökologie und Design vermögen optimierte Strukturen das Gewicht von Teilen zu reduzieren, was die CO₂-Emissionen senkt. Ich sehe ein gewaltiges Potenzial in der DMLS-Technologie für zukünftige Luftfahrzeuggenerationen, sowohl was die Entwicklung als auch die Herstellung anbelangt.“

Jon Meyer, Leiter des ALM-Forschungsteams bei EADS Innovation Works

Abb. 4.2 Ein weiteres Beispiel für verbessertes Bauteildesign: Prototyp einer topologie-optimierten Halterung eines Airbus A380, die im DMLS-Verfahren aus Edelstahlpulver gefertigt wurde, und die herkömmliche Halterung im Hintergrund. (Quelle: EADS).



Kurzprofil EADS

EADS ist weltweiter Marktführer in Sachen Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und den damit verbundenen Dienstleistungen. Im Jahr 2011 erzielte die Gruppe – bestehend aus Airbus, Astrium, Cassidian und Eurocopter – einen Umsatz von 49,1 Mrd. € und beschäftigte 133.000 Mitarbeiter.

Anschrift:

EADS Innovation Works
Building 20A1
Golf Course Lane
Filton, Bristol BS34 7QQ (UK)

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
EOS GmbH
Electro Optical Systems
Robert-Stirling-Ring 1
82152 Krailling/München
www.eos.info

4.2 Kleinserien aus einem „endkundentauglichen“ 3D-Drucker

Dieses Beispiel habe ich aufgenommen, weil zwei Aspekte besonders bemerkenswert sind: Zum einen handelt es sich bei dem verwendeten 3D-Drucker um ein Gerät, das vom Prinzip her ein Endkundenprodukt sein könnte. Der eingesetzte MakerBot Replicator 2 liegt preislich bei in etwa 2000 € und produziert nach dem FDM-Verfahren wie in Abschn. 2.4 beschrieben. Auch wenn das Gerät technisch überdurchschnittlich ausgereift ist, könnte man argumentieren, dass die produzierten Bauteile auch von einem selbstgebauten 3D-Drucker produziert werden können.

Der zweite, interessante Aspekt ist, dass es sich hier um eine Kleinserien-Produktion handelt.

Der MakerBot® Replicator2® im Einsatz für ROTH MOBELI

Die ROTH GmbH, spezialisiert auf Sanitär- und REHA-Produkte, hat seit 14 Jahren mit den mobilen Haltegriffen eine Produktinnovation im Programm. Die geniale Mobeli-Serie mit ihren Vakuum-Saugknöpfen ermöglicht Personen mit Bewegungseinschränkungen sicherer Halt im Bad – flexibel verstellbar, schwer belastbar und reisefreudig.

„Auf Messen werden immer wieder Wünsche zur Erweiterung des Systems an uns herangetragen“, erklärt Herr Rieß, der für die Serie verantwortliche Ingenieur. „Auf einer Messe entdeckte ich MakerBot. HAFNER'S BÜRO bot mir einen Probbedruck des Modells an und wir kauften danach sofort einen Replicator 2. Pünktlich zur Messe zwei Wochen später konnten wir schon die Reaktion der Besucher auf den Prototypen testen. Das Schloss wird als Kleinserie gefertigt. Mit Spritzguss wäre das Produkt gar nicht herstellbar gewesen, da ein funktionaler Hohlraum umschlossen wird. Auch unsere Prototypenentwicklung hat sich gegenüber früher auf Tage statt Wochen reduziert.“

Damit der Mobeli-Haltegriff sich nicht durch unsachgemäße Handhabung von der Wand löst und es so zu Unfällen kommen kann, hält ein Schloss den Saughebel in Position. Bei diesem Schloss handelt es sich um eine Spezialform und somit um eine passgenaue Sonderanfertigung. Hier setzt die Firma Roth auf den MakerBot Replicator 2 und die Möglichkeit, einzelne Teile auch in Kleinserie herzustellen. Durch die speziellen Anforderungen an die Form des Bauteils ist dies die effektivste und kostengünstigste Lösung. Es kann nach Bedarf produziert werden, man ist unabhängig von Lieferwegen und -zeiten und das Bauteil ist ohne aufwendige Nachbearbeitung im doppelten Sinne gleich „einsetzbar“. Lediglich der Schließmechanismus muss noch in das Schloss eingesetzt und fixiert werden, schon ist das Teil versandbereit. Beim Versand werden zudem Schutzkappen über den Saugknöpfen angebracht – auch diese werden auf dem Replicator 2 ausgedruckt und können auf eventuell wechselnde Größen der Saugköpfe flexibel angepasst werden.

Ob Erweiterungen des Systems oder grundsätzliche Veränderungen an der Konstruktion – beides ist durch den Einsatz des 3D-Druckers sowohl im Prototyping als auch

Abb. 4.3 Nahansicht ausgedruckter Schlosseinsatz.
(Quelle: Hafner's Büro)



in der Produktion problemlos möglich. Somit hat das Team der Firma Roth die nötige Flexibilität, um auf veränderte Gegebenheiten schnellstmöglich zu reagieren.

Gerade dieser Zeitvorsprung im Prototyping und die Flexibilität in der Produktion sind die Faktoren, die den Bereich 3D-Druck für viele Unternehmen und ganze Branchen so interessant machen. So kann in einem immer schnelleren, globalen Wettbewerb ein sinnvoller, effizienter und zudem kostengünstiger Technologievorsprung erlangt werden.

Vgl. Abb. 4.3

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:

HAFNER'S BÜRO
Motorstraße 45
70499 Stuttgart
Standort Berlin
Lehrter Straße 57 - Haus
110557 Berlin
www.hafners-buero.com

4.3 Prototypen-Druck von Schuhen

Dieses Beispiel beschäftigt sich mit dem Ursprung der 3D-Druck-Technologie: dem Rapid Prototyping. Entwicklungszyklen verkürzen, Ausgaben senken und noch bessere Produkte entwickeln ist das Ziel der „schnellen Prototypen-Entwicklung“.

Das Beispiel Timberland ist bemerkenswert, da es veranschaulicht, in welchen, vielleicht eher unerwarteten Bereichen der 3D-Druck heute bereits eingesetzt wird. Schuhprototypen werden nicht nur hergestellt, um das Vermarktungspotenzial neuer Designs

zu untersuchen, sondern auch um den Tragekomfort und die Belastbarkeit eines Schuhdesigns zu bewerten.

Timberland spart Zeit und Kosten und findet stets das optimale Design – dank 3D-Druck

Das Unternehmen Timberland (TBL) fing mit einfachen Arbeitsschuhen an. Inzwischen jedoch gehört die Lifestyle-Marke zu den erfolgreichsten der Welt. Ob bei der Arbeit, in der Freizeit oder zu besonderen Gelegenheiten – ein Timberland-Produkt bietet stets die ideale Kombination aus ansprechendem Design und Funktionalität und wird damit den unterschiedlichsten Kundenanforderungen gerecht. Damit das so bleibt, ist es von entscheidender Bedeutung, dass Techniker, Vertriebs- und Marketingexperten des 1,5 Mrd. US-Dollar schweren Unternehmens mit Sitz in New Hampshire bei der Entwicklung jedes einzelnen Produkts eng zusammenarbeiten – vom anfänglichen Konzept über die Prototypenerstellung bis hin zur Serienproduktion.

Die Herausforderung: Erschwingliche Prototypen ohne Zeitverlust erstellen

Der fertige Schuh soll nicht nur gut aussehen, er muss auch bequem und belastbar sein. Das Oberflächendesign richtet sich in der Regel nach aktuellen Modetrends. Schwieriger wird es da schon bei der Sohle: Die Stellen, an denen der Fuß auf der Sohle anliegt oder die Sohle mit dem Boden in Berührung kommt, stellen die höchsten Anforderungen an das Design. Unter Einsatz von CAD-Software wird ständig an der Verbesserung der Konzepte für Senkfußeinlagen, Laufflächenprofile, Materialien, Absatzstabilisierung, Orthesen und die unveränderlichen Bestandteile (z. B. Fußmodelle) gearbeitet.

Es ist nicht lange her: Im Jahr 2002 hat Timberland professionelle Modellbauer eingestellt, die auf der Grundlage von 2D-CAD-Darstellungen Prototypen im 3D-Format aus Holz oder Schaumstoff erstellen sollten. Die Erstellung dieser Prototypen dauerte in der Regel eine Woche oder länger. Die Kosten betrugen 1200 US-Dollar pro Prototyp. Der zeitaufwendige Prozess machte es dem Unternehmen unmöglich, kurzfristig Änderungen an den Modellen vorzunehmen und diese dadurch zu optimieren. Daher blieb dem Unternehmen nichts anderes übrig, als entweder den Entwicklungszyklus zu verlängern oder auf die gewünschten Änderungen zu verzichten.

„Lassen wir die Zeit und die Kosten einmal außen vor. Der alte Ansatz bringt noch ein weiteres Problem mit sich: Die CAD-Darstellungen in 2D erfordern einfach zu viel Interpretation“, erläutert Toby Ringdahl, Computer-Aided-Design Manager des Bereichs Produktentwicklung und Herstellung von Schuhmode. „Die fertigen Prototypen entsprachen oftmals nicht den Erwartungen. Doch nicht immer ist es möglich, eine ganze Woche für die Erstellung einer neuen Version aufzuwenden.“

Timberland erkannte, dass mehr Prototypen in kürzerer Zeit benötigt wurden. Das Unternehmen beauftragte das Team um Ringdahl mit einer sechsmonatigen Prüfung verschiedener Methoden zur Prototypenerstellung.

Die Lösung: Interner 3D-Druck

Nach eingehender Prüfung entschied man sich bei Timberland für den ZPrinter 310 von Z Corporation, dem schnellsten und kostengünstigsten 3D-Drucker auf dem Markt.

Aufgrund der geringen Kosten für die Druckmaterialien und der hohen Geschwindigkeit des Geräts war es gegenüber den Systemen zur schnellen Prototypenerstellung von Stratasys, Objet und 3D Systems klar im Vorteil.

Im Jahr 2005 ging Timberland noch einen Schritt weiter und investierte in den Spectrum Z510, den ersten 3D-Hochleistungsfarbdrucker auf dem Markt mit 24-Bit-Farben und einer Auflösung von 600 dpi. Nur Z Corp. bietet Technologie für den Druck in Vollfarbe, die Designinformationen weitaus effizienter übermittelt als Monochromtechnologie. Farben können nicht nur zur Erstellung eines realistischen Objekts eingesetzt werden, sondern darüber hinaus auch zur Beanspruchungsanalyse, Produktbeschriftung oder zur Kennzeichnung wichtiger Teile oder Änderungen.

Das Ergebnis: Bessere Prototypen – schneller und günstiger

Der Spectrum Z510 erkennt CAD-Dateien von Timberlands Software zur Erstellung mechanischer Designs in 3D und erstellt auf dieser Grundlage schnell und kostengünstig.

Physische Modelle

Die enorme Leistungsfähigkeit des Druckers hat Timberland dabei geholfen, effizienter und kostengünstiger zu arbeiten. Beispielsweise muss Timberland für einen Prototyp nun nicht mehr 1200 US-Dollar, sondern lediglich 35 US-Dollar aufwenden.

Die Herstellungszeit für einen Prototyp ist von einer Woche auf 90 Min gesenkt worden. Dies ermöglicht eine häufigere und engere Zusammenarbeit zwischen Technikern und Marketingexperten. Der gesamte Entwicklungszyklus konnte dank der schnellen Erstellung farbiger Prototypen direkt vor Ort von ursprünglich drei auf nunmehr zwei Wochen verkürzt werden.

Der große Bauraum des Spectrum Z510 sorgt für zusätzliche Zeitersparnis. Da der Bauraum bei diesem Gerät größer ist als beim ZPrinter 310, ist es nun möglich, Prototypen in voller Größe auf dem flachen Druckbereich statt in Schräglage zu drucken. Dadurch können bei solchen Aufträgen bis zu drei Stunden Druckzeit eingespart werden.

Die Geschwindigkeit und Effizienz des Spectrum hat unmittelbar zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Produktqualität beigetragen. In den Wochen, die Timberland nun nicht mehr mit Warten auf den fertigen Prototyp verbringen muss, kann das Unternehmen an einem Schuhdesign zahlreiche Änderungen vornehmen.

Dadurch können mehr Designer, Techniker und Marketingspezialisten eine größere Anzahl Produkte in kürzerer Zeit bearbeiten und Timberland dabei unterstützen, Sitz, Funktionalität und Design seiner Schuhe zu optimieren. „Wir sind jetzt in der Lage, beliebig viele Änderungen und Variationen vorzunehmen“, so Ringdahl, „und die Designer und Marketing-Manager können sich sicher sein, dass ihre Produkte die Erwartungen von Timberland und den Kunden voll und ganz erfüllen.“

Die Investitionen in den Spectrum haben auch zur Senkung zusätzlicher Kosten geführt, die für gewöhnlich gegen Ende der Entwicklungsphase anfallen, wie teure Reisen rund um die Welt zur Begutachtung wichtiger Schuhmodelle in Betriebsstätten im Ausland. Da die physischen 3D-Modelle für eine Einigung auf ein bestimmtes Design völlig ausreichen, ist es nicht mehr erforderlich, Schuhmodelle in der Produktionsphase zu prüfen.

Die Farbgebung ist ein weiterer wichtiger Vorteil. Die Wirkung eines Designs kann erst durch Farbe vollkommen erfasst werden. Die unvergleichliche Auflösung des Spectrum ermöglicht die perfekte Darstellung selbst kleiner Details wie Sohlenprofil, Ösen für die Schnürung auf der Schuhoberseite oder Aufdrucke auf der Sohle. „Je wirklichkeitsgetreuer ein Prototyp ist, desto weniger Interpretation ist erforderlich“, erklärt Ringdahl. „Böse Überraschungen gibt es nun nicht mehr.“

Das Ergebnis: Gesteigerte Verkaufszahlen

Auf den ersten Blick scheint der 3D-Druck nur ein weiteres Tool im Herstellungsprozess zu sein. Doch in Wirklichkeit beeinflusst diese Technologie die Einnahmen des Unternehmens gleich in zweierlei Hinsicht: Erstens führt die enge Zusammenarbeit zwischen Designern, Technikern und Marketingspezialisten dazu, dass das Produkt den Anforderungen des Markts genau entspricht. Das bedeutet mehr Verkäufe. Zweitens haben Timberlands Vertriebsmitarbeiter die Möglichkeit, Prototypen zu Verkaufsgesprächen mit maßgeblichen Einzelhändlern mitzubringen, was ihnen einen ungeheuren Vorteil gegenüber der Konkurrenz verschafft, die nur Zeichnungen mitbringt. In solchen Fällen können Vertriebsmitarbeiter viel einfacher Geschäfte abschließen.

„Produkte, die aufgrund der eher langweilig wirkenden 2D-Darstellungen normalerweise keinen Erfolg gehabt hätten, entwickeln sich nun zu echten Verkaufsschlagnern, da die farbigen, wirklichkeitsgetreuen Prototypen die Kunden überzeugen“, sagt Ringdahl. Timberland geht davon aus, künftig noch mehr Vorteile aus dem 3D-Druck ziehen zu können. Techniker werden Software zur Formanalyse einsetzen und mit dem Spectrum Z510 Prototypen erstellen, die potenzielle Druckstellen und Unebenheiten auf der Schuhinnenseite aufzeigen.

„In unserer Branche sind wir stets bestrebt, die Visionen der Marketing- und Vertriebsexperten schnell und kostengünstig in die Tat umzusetzen und den Geschmack der Kunden zu treffen. Wir möchten Produkte herstellen, die Belastbarkeit, Tragekomfort und modernstes Design verbinden“, erklärt Ringdahl. „Die Drucker von Z Corp. haben uns dabei geholfen, unser Ziel zu erreichen. Wir konnten unsere Entwicklungszyklen verkürzen, unsere Ausgaben senken und noch bessere Produkte für unsere Kunden entwickeln.“

Vgl. Abb. 4.4

Abb. 4.4 Prototyp einer Schuhsohle. (Quelle: Kisters AG)



Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:

KISTERS AG

Pascalstraße 8 + 10

52076 Aachen

www.kisters.de

4.4 Designerstuhl ausgedruckt: Gussformen aus dem 3D-Drucker

Ganze Möbel kommen aus dem 3D-Drucker – wie ist so etwas möglich? Der Eindruck, dass 3D-Drucker komplett Möbel fertigen, kann schnell entstehen, wenn man die Presseberichte oberflächlich liest. Auch deshalb haben wir dieses Beispiel aufgenommen.

Der Bauraum der meisten 3D-Drucker ist entweder zu klein oder zu wertvoll, um sinnvoll damit Möbel zu drucken. Einige Sonderfälle für den FDM-Druck von Plastikmöbeln mag es geben, aber einen Hochleistungs-3D-Möbeldrucker erwarte ich nicht so bald.

Das folgende Beispiel ist deshalb so interessant, da es eine kreative Anwendung im Gussformenbau präsentiert. Dank des 3D-Druck-Verfahrens wird der „Bau“ von Sandgussformen deutlich günstiger. Diese Vorgehensweise wird auch indirekter 3D-Druck genannt.

In dem Beispiel wird eine fünfteilige Sandform in 36 h mit einem speziellen 3D-Drucker vorbereitet. Anschließend wird der Stuhl aus Aluminium gegossen und nachbearbeitet. Die Form wird in dem Prozess zerstört – jeder Stuhl braucht also seine eigene Gussform. Das fertige Produkt ist nach nur 15 Tagen lieferbar.

Mit diesem Ansatz werden nicht nur Stühle produziert: Turbinen-Schaufeln, -Räder und andere Gussteile für die Industrie werden so angefertigt.

Das gleiche Konzept wird auch im Feinguss angewendet. Hier werden als Formenvorlage 3D-Druck-Vorlagen aus Kunststoff eingesetzt. Mithilfe von voxeljet produziert beispielsweise die Non-Profit-Organisation ideas2cycles¹ Bauteile für individuell angefertigte Fahrräder.

Bemerkenswert hier ist, dass auf diese Weise Kleinstunternehmen und sogar Privatleute durch kostengünstige FDM-Drucker in der Lage sind, ihre eigenen Gussteile produzieren zu lassen. Die Vorlage kann selbst erstellt und die Funktion verifiziert werden, das Gussteil muss nur noch bestellt werden.

Sandgussformen für Designermöbel

Batoidea, zu Deutsch „Rochen“, ist der Name eines Designerstuhls des belgischen Stardesigners Peter Donders. Der Blick auf das edle Möbelstück erklärt die Namens-

¹ Weitere Informationen unter www.ideas2cycles.com.

Abb. 4.5 Designerstuhl – fertiges Produkt. (Quelle: voxeljet AG)



gebung. Das Design erinnert tatsächlich an einen elegant dahinschwebenden Rochen, visualisiert Leichtigkeit und Luftigkeit und ist dabei von beeindruckender Eleganz. Ein Stuhl aus Aluminiumguss, der mit Konventionen bricht und dessen Herstellung ohne die 3D-Drucktechnologie, zumindest unter wirtschaftlichen Aspekten, kaum möglich gewesen wäre.

Geht es um die Herstellung von Designermöbeln in geringen Stückzahlen, setzen immer mehr Anbieter auf die 3D-Drucktechnologie. Damit lassen sich spektakuläre Designs unter wirtschaftlichen Herstellkosten realisieren, wie das Beispiel des Stuhls Batoidea unterstreicht. Peter Donders gelang es, seine unkonventionellen, von der Natur inspirierten Ideen auf eine sehr technische Art und Weise mit dem bekannten Modellierprogramm Rhino3D auf dem Computer umzusetzen. Der große Vorteil der fortschrittlichen Arbeitsweise: Der für den 3D-Druck benötigte CAD-Datensatz lag mit Abschluss der Arbeit am Computer automatisch vor.

Für die Herstellung des großzügig dimensionierten Stuhls mit seinem komplexen Rochen-Design waren insgesamt fünf Sandformteile erforderlich, die allesamt im Dienstleistungszentrum bei voxeljet in Augsburg entstanden. Das größte Formteil hatte Dimensionen von $1105 \times 713 \times 382$ mm, was die Hochleistungsdrucker von voxeljet aber spielerisch bewältigen. Immerhin erlauben die größten 3D-Druckanlagen von voxeljet den Bau von Formen mit einem Volumen von maximal acht Kubikmetern.

Vgl. Abb. 4.6

Der Herstellprozess des Stuhls stellt hohe Anforderungen an den 3D-Druck und an den Abguss, da es sich um ein sehr dünnwandiges Aluminiumguss-Konstrukt handelt. Nach dem Abguss stehen noch Schleif- und Polierarbeiten an, ehe der Stuhl Batoidea abschließend eine hochwertige Lackierung erhält.

Abb. 4.6 Stuhl in Sandgussform. (Quelle: voxeljet AG)



Über die voxeljet AG

Die voxeljet AG produziert Formen für den Metallguss nach Datensatz. Durch den Einsatz des Generis-Sand-Prozesses profitiert der Anwender von entscheidenden Zeit- und Kosteneinsparungen. Ausgehend von 3D-CAD-Daten werden die Formen werkzeuglos und vollautomatisch über das Schichtbauverfahren im gewünschten Formstoff hergestellt. Der aufwendige und teure Umweg über die sonst notwendige Formeinrichtung entfällt.

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
voxeljet AG
Paul-Lenz-Straße 1b
86316 Friedberg
www.voxeljet.de

4.5 3D-Druck von Architekturmodellen

An dieser Stelle möchten ich die Gelegenheit nutzen ein Beispiel und Erfahrungen aus meinem Unternehmen vorzustellen: 3D-gedruckte Modelle von (geplanten) Bauvorhaben.

Renderings, 3D-Druck und mehr

Seit Gründung in 2008 sind Computer-Renderings² fester Bestandteil des Leistungsspektrums der Core Consulting GmbH. Insbesondere Bauträger, aber auch Immobi-

² Als Rendering bezeichnet man im Computer modellierte und dann berechnete Abbildungen. Diese Abbildungen können so real wirken, dass sie von Fotografien nicht unterschieden werden können.



Abb. 4.7 Computer-Rendering einer Wohnanlage in Bad Bevensen bei Hamburg, siehe auch www.servicewohnenplus.de. (Quelle: Core Consulting GmbH)

lienmakler und Architekten, beauftragen uns regelmäßig mit Renderings für ihre Kunden, die sich ein entstehendes Objekt anhand eines „Fotos“ deutlich besser vorstellen können als anhand reiner Planungsdaten.

Vgl. Abb. 4.7

Im Jahr 2011 untersuchten wir das erste Mal das Thema 3D-Druck detailliert. Uns interessierte, ob wir die für das Rendern erstellten CAD-Daten auch an einen 3D-Drucker schicken könnten. Die kurze Antwort war „nein“, denn die Datenformate für Renderings und 3D-Druck wiesen zu viele unüberbrückbare Unterschiede auf.

Beim Rendern gibt es keine besonders hohen Anforderungen an das Modell. Hier spielen hauptsächlich die Zuweisung der physikalischen Eigenschaften wie Farbe, Rauheit oder Transparenz an die Oberflächen und die Beleuchtung der Szene eine Rolle, also alles, was sichtbar ist. Im Rendering können nicht sichtbare Teile, zum Beispiel Rückseiten von Gebäuden etc., komplett ausgespart werden. Es gibt außer bei komplexen Materialien prinzipiell keine Anforderungen an Mindeststärken oder geschlossene Volumen. Auch kann der Detailgrad beliebig hoch sein. Die Software übernimmt dann die Berechnung von Licht, Schatten, Reflexionen usw. zu einem realistischen Gesamtbild, ungeachtet der Tatsache, dass das Modell so in der Realität nicht gebaut werden könnte.

Die für den 3D-Druck geeigneten 3D-Daten müssen in Form von fehlerfreien, geschlossenen Volumen-Modellen vorliegen, damit der Drucker/die Software richtig interpretieren kann, was gedruckt werden soll und was Hohlraum oder Luft ist. Für den Ausdruck müssen von Beginn an die für den gewählten Maßstab passenden Wandstärken gewählt werden, da dies absolute Anforderungen sind und dadurch nicht einfach



Abb. 4.8 3D-Druck einer Wohnanlage in Bad Bevensen bei Hamburg (siehe auch www.servicewohnenplus.de). Grundfläche: 50 × 70 Zentimeter. (Quelle: Core Consulting GmbH)

skaliert werden können. Daher ist auch der mögliche Detailgrad des Modells abhängig von der Größe des Ausdrucks, da je nach Technologie an einem bestimmten Punkt die minimale Wiedergabegenauigkeit erreicht ist. Je nach gewählter 3D-Druck-Technologie müssen eventuell noch Stützkonstruktionen eingefügt werden.

Diese unterschiedlichen Anforderungen an die 3D-Daten sind so fundamental, dass es bis heute keine automatisierte Lösung hierfür gibt, wenngleich mehrere Startups und sicherlich auch bereits etablierte Unternehmen an Lösungen für diese Problematik arbeiten.

Vgl. Abb. 4.8

Auch die passende 3D-Druck-Technologie musste erst identifiziert werden. Die ersten Modelle aus kostengünstigen FDM-Druckern fingen bereits bei kleinen Maßstäben an sich zu verbiegen, Risse durchzogen das Modell. Es dauerte circa zwei Jahre bis wir den Workflow optimiert und die passende 3D-Druck-Vorgehensweise identifiziert hatten.

Das Ergebnis: Heute können wir Computer-Renderings und 3D-Druck aus einer Datenbasis bedienen und dem Kunden somit ein kostengünstiges Gesamtpaket anbieten, das neben Renderings und 3D-Druck-Realisierung auch Vitrinen-Bau und Beleuchtung beinhaltet.

Die Ausarbeitung dieses Gesamtkonzeptes war zeitgleich der Einstieg der Core Consulting GmbH in die unabhängige 3D-Druck-Beratung. Aktuell arbeiten wir daran, die Datenbasis weiter zu optimieren, so dass wir in naher Zukunft auch Virtual Reality und Augmented-Reality-Anwendungen aus einer Datenquelle bedienen können.

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
Core Consulting GmbH
Schluderstraße 10
80634 München
www.coreconsulting.de

4.6 Serienfertigung von Flugzeugturbinen-Komponenten

Das folgende Fallbeispiel ist am Puls der Zeit: Seit Mitte 2013 fertigt der deutsche Triebwerkshersteller MTU Aero Engines eine Turbinen-Komponente durch additive Fertigung. Noch handelt es sich um ein weniger komplexes Bauteil, aber der zukünftige Einsatz von 3D-Druck für komplexere Elemente wird priorisiert. Ab 2015 sollen auch die Stückzahlen deutlich steigen.

Interessant an dem Beispiel ist, dass auch ein großes, erfahrenes Unternehmen sich vorsichtig und langsam an die Einführung von 3D-Druckern herantasten und erst über mehrere Jahre Erfahrungen sammeln muss, bis die Technologie in die Serie findet. Aber der Aufwand hat sich gelohnt: MTU ist technologisch voraus, so das Unternehmen.

Das gefertigte Bauteil ist ein Boroskop-Auge. Nein, mit dem Boroskop-Augen werden nicht die Passagiere beobachtet. Ein Boroskop ist ein Endoskop, also ein Gerät zur Untersuchung von (technischen) Hohlräumen – die Turbinenbeschafelung in diesem Fall. Und das Boroskop-Auge ist ein Anbauteil, das an die Niederdruckturbine geschraubt wird, um ins Innere der Turbine blicken zu können.

Vorreiter: MTU Aero Engines fertigt Serienteile mit additivem Verfahren

Boroskop-Augen für A320neo-Getriebefan entstehen per Laserschmelzen

München, 13. März 2014 – Additive Verfahren erobern eine Wirtschaftsbranche nach der anderen. Im Triebwerksbau ist der MTU Aero Engines ein Durchbruch gelungen: Als eines der ersten Unternehmen fertigt sie seit Mai vergangenen Jahres Bauteile für die Serie. Per Selektivem Laserschmelz-Verfahren (Selective Laser Melting, SLM) entstehen in München Boroskop-Augen für das A320neo-Triebwerk, das PurePower® PW1100G-JM von Pratt & Whitney. „Damit stellt die MTU einmal mehr ihre Innovationsführerschaft unter Beweis, denn wir fertigen mit einem der modernsten Verfahren der Welt Teile für eines der modernsten Triebwerke, den Getriebefan“, erklärt Technik-Vorstand Dr. Rainer Martens.

Die Niederdruckturbine des Getriebefans PW1100G-JM ist die erste Turbine, die serienmäßig mit additiv gefertigten Boroskop-Augen ausgerüstet werden soll. Diese Bauteile sind Teil des Turbinengehäuses und werden benötigt, um die Beschafelung von Zeit zu Zeit mit einem Boroskop auf mögliche Abnutzungen hin zu überprüfen.

„Bisher haben wir diese Bauteile gegossen oder aus dem Vollen gefräst“, erklärt Martens. Jetzt entstehen sie per Selektivem Laserschmelzen. Bei diesem Verfahren wird das 3D-Modell des zu fertigenden Teils am Rechner in einzelne Schichten zerlegt. Nach diesem Bauplan baut ein Laser die Schichten auf einer Bauplattform nach und nach aus einem pulverförmigen Ausgangsmaterial auf – Schichtdicke: 20 bis 40 Mikrometer. Die Pulverpartikel werden lokal aufgeschmolzen und so miteinander verbunden. Derzeit werden die Boroskop-Augen noch in kleinen Stückzahlen gefertigt. Ab dem Jahr 2015 sieht das anders aus: Wenn die Serienfertigung des neo-Triebwerks hochfährt, werden auch die MTU-Produktionszahlen nach oben schnellen.

Additive Verfahren sind bei Deutschlands führendem Triebwerkshersteller seit gut zehn Jahren ein Thema, denn sie verfügen über bestechende Vorteile: Mit ihnen können komplexe Bauteile, die herkömmlich nicht oder nur sehr aufwendig gefertigt werden, mit geringerem Material- und Werkzeugeinsatz hergestellt werden. Die Realisierung neuer Designs wird möglich, Entwicklungs-, Fertigungs- und Lieferzeiten verkürzen sich deutlich und die Herstellkosten sinken. „Das additive Verfahren eignet sich vor allem für schwer zerspanbare Werkstoffe, etwa Nickellegierungen“, konstatiert Dr. Karl-Heinz Dusel, Leiter Rapid Technologies bei der MTU in München.

Vgl. Abb. 4.9

„Begonnen haben wir mit der Herstellung von Werkzeugen sowie einfachen Entwicklungsbauteilen“, erläutert der Fertigungsspezialist. In der zweiten Phase wurden Rohteile produziert, die bestehende Teile ersetzt haben, etwa Spritzdüsen sowie Schleifscheiben zur Fertigung von Bauteilen. In diese Etappe fallen auch die GTF-Boroskop-Augen. Im nächsten Schritt sollen Leichtbauteile neu entwickelt und gefertigt werden. Vor allem bei der Herstellung komplexer Bauteile könnte das Verfahren seine Stärke ausspielen, denkbar wären Lagergehäuse und Turbinenschaufeln.

Technik-Vorstand Martens: „Wir entwickeln das additive Verfahren im Augenblick mit hoher Priorität in zahlreichen Technologieprojekten und Technologieprogrammen

Abb. 4.9 Lasersinter-Anlage
in Betrieb. (Quelle: MTU Aero
Engines AG)



Abb. 4.10 Fertiges Bauteil:
Boroskop-Auge. (Quelle:
MTU Aero Engines AG)



weiter.“ Im Rahmen des größten europäischen Technologieprogramms Clean Sky arbeitet die MTU etwa an einem additiv gefertigten Dichtungsträger: Der Innenring mit integralen Honigwaben soll im Hochdruckverdichter verbaut und zu einer Gewichtsreduzierung, einem Hauptziel in der Luftfahrt, beitragen.

Vgl. Abb. 4.10

Für Martens ist schon jetzt klar, dass seine Strategie aufgegangen ist: „Wir haben nicht gleich mit komplexen Bauteilen angefangen sondern mit vergleichsweise einfachen Triebwerksteilen wie Boroskop-Augen. Schritt für Schritt haben wir uns weiter vorgewagt und unsere Erfahrungen gemacht. Das zahlt sich jetzt aus, denn wir sind mit die Ersten, die für die Serie fertigen. Am neo-Triebwerk haben wir gelernt, wie die additive Serienfertigung funktioniert, und können den Prozess jetzt auf andere Bauteile und Triebwerkstypen übertragen, da die Grundstrukturen die gleichen sind.“

Über die MTU Aero Engines

Die MTU Aero Engines ist Deutschlands führender und einziger unabhängiger Triebwerkshersteller und weltweit eine feste Größe. Sie entwickelt, fertigt, vertreibt und betreut zivile und militärische Luftfahrtantriebe sowie Industriegasturbinen. Technologisch führend ist sie bei Niederdruckturbinen, Hochdruckverdichtern, Herstell- und Reparaturverfahren. Im Bereich der zivilen Instandhaltung ist die MTU Maintenance der weltweit größte unabhängige Triebwerksinstandhalter. Auf dem militärischen Gebiet ist die MTU Aero Engines der Systempartner für fast alle Luftfahrtantriebe der Bundeswehr. Die MTU unterhält Standorte weltweit; Unternehmenssitz ist München.

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
MTU Aero Engines AG
Dachauer Str. 665
80995 München
www.mtu.de

4.7 Kleinserien von Fertigungsautomaten-Teilen aus dem industriellen 3D-Drucker

Das folgende Beispiel aus der Automationsbranche befasst sich mit Kleinserien-3D-Druck. Auch hier ist wieder der Designaspekt, der die Stärken des 3D-Drucks in Sachen Komplexität ausschöpft, maßgeblich dafür, dass sich die Technologie durchsetzt. Zusammen ermöglichen 3D-Druck und Design die Fertigung von bisher so nicht herstellbaren Bauteilen. Die Vorteile der Konstruktion rechtfertigen höhere Kosten.

Industrie: EOS-Technologie ermöglicht dem Automatisierungsspezialisten Festo die Herstellung des bionischen Assistenzsystems

Vgl. Abb. 4.11

Additive Fertigung bietet neue Konstruktionslösungen für mehr Wirtschaftlichkeit in der Kleinserienfertigung

Biologische Prozesse, Bewegungsmuster von Lebewesen oder physische Konstruktionsprinzipien: Die Natur liefert unzählige Ansätze, die nur darauf warten, von der Bionik analysiert und auf innovative Weise technisch abgebildet zu werden. Jedoch ist den Problemlösungen, die Mutter Natur über Jahrtausende der Evolution entwickelt

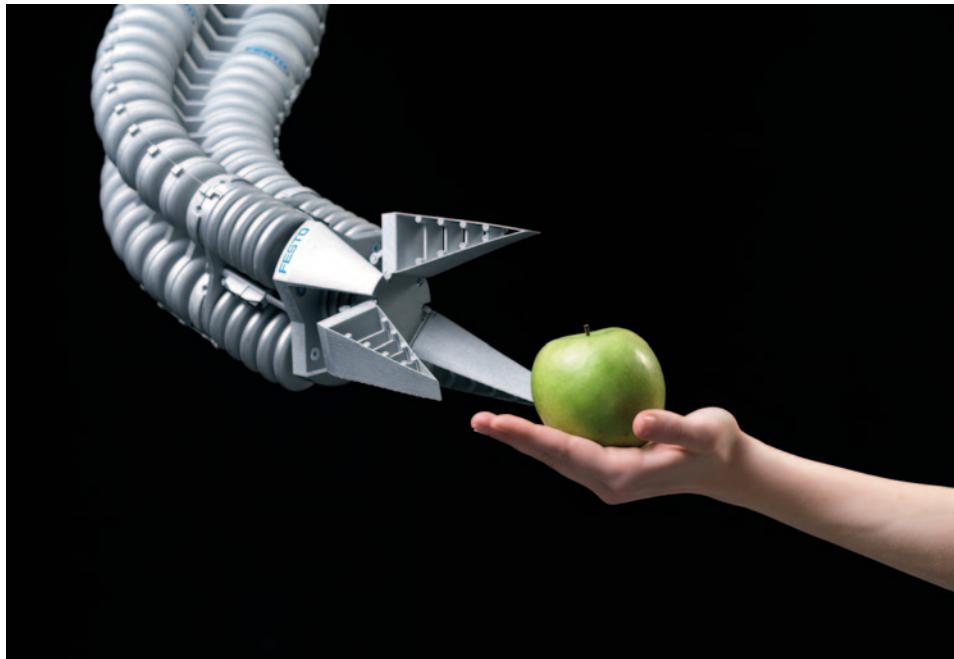


Abb. 4.11 Bionischer Handling-Assistent: ein Greiforgan, das Gegenstände sanft, flexibel und dennoch kraftvoll greifen und sicher absetzen kann. (Quelle: Festo AG & Co.KG).

hat, nur selten mit konventionellen Fertigungstechniken beizukommen. Festo, weltweit führend in der Automatisierungstechnik, verwendet deshalb für die Kleinserienfertigung einiger seiner, auf bionischer Adaption beruhenden, industriellen Applikationen das Lasersinter-Verfahrens. 2010 wurde der Bionische Handling-Assistent des Unternehmens mit dem Deutschen Zukunftspreis, dem Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation, ausgezeichnet.

Herausforderung

Das Esslinger Unternehmen hat seit 1995 Erfahrung in der generativen Fertigung und stellt mit dieser Technologie mittlerweile mehrere tausend Teile jährlich her. Was einst mit Konzeptmodellen und Funktionsprototypen begann, ist inzwischen in der Kleinserienfertigung angekommen. Dafür war auch das 2006 von Festo gegründete Bionic Learning Network, ein Verbund mit namhaften Hochschulen, Instituten und Entwicklungsfirmen, ein wichtiger Wegbereiter. Denn Produkte, deren technische Grundprinzipien aus der Natur abgeleitet sind, weisen nicht selten ein komplexes Design auf. Mit herkömmlichen Fertigungsmethoden kann das nicht oder nur schwer und kostspielig umgesetzt werden. Dabei bestimmt das Herstellungsverfahren das Produktdesign, was dadurch viel zu oft Einschränkungen erfährt. Die rationell konstruierende Natur hingegen kennt diese Restriktionen nicht. Ihr kann also nur mit einer Technologie nachgeeifert werden, bei der das Design die Produktionsweise bestimmt und die im Idealfall auch in Serie funktioniert.

Lösung

Ein Beispiel für die erfolgreich realisierte Produktentwicklung und Herstellung mittels additiver Fertigung: der adaptive Greifer DHDG. Er ist mittlerweile fester Bestandteil des Produktpakets von Festo und wird auf einer FORMIGA P 100 von EOS gefertigt. Seine Struktur ist einer Fischflosse nachempfunden. Er besitzt zwei flexible Bänder, die wie ein Dreieck in der Spitze zusammenlaufen. In regelmäßigen Abständen werden Zwischenstege über Gelenke mit den Bändern verbunden. Durch diesen flexiblen, zugleich aber festen Verbund passen sich die Greifzangen der Kontur des Werkstücks an. Auch empfindliche Objekte oder Objekte mit voneinander abweichenden Konturen werden festgehalten und transportiert. Das Besondere daran ist, dass die Greifelemente diese Funktionalität bereits direkt nach der Herstellung besitzen und nicht erst nach aufwendiger Montage. Lasersintern ist damit Fertigungsvoraussetzung für dieses Design und diese spezielle Anwendung – eine Alternative nicht existent. Ein zweites Beispiel ist der Bionische Handling-Assistent. Das bewegliche Assistenzsystem nach dem Vorbild eines Elefantenrüssels besteht aus drei Grundelementen zur räumlichen Bewegung sowie einer Handachse und einem Greifer mit adaptiven Fingern. „Der Hightech-Arm wäre aufgrund seiner Funktionalität sowie des Aufbaus aus komplexen Kunststoffteilen ohne Lasersintern nicht realisierbar gewesen“, sagt Klaus Müller-Lohmeier, Leiter Advanced Prototyping Technology bei der Festo AG & Co. KG. Schon vier Bauprozesse einer FORMIGA P 100 reichen aus, um einen kompletten Handling-Assistent herzustellen.

Ergebnisse

Die EOS-Technologie macht es möglich, Funktionen, über die das Endprodukt später verfügen soll, bereits mit zu fertigen. Das ist von Vorteil, weil sich so die Anzahl an Einzelteilen verringert und ein nachträglicher Montageaufwand reduziert wird. „Dank der gestalterischen Freiheit des Lasersinter-Verfahrens können wir bewegliche, flexible, aber auch gezielt steife Formen herstellen – gerade so, wie sie in der Natur vorkommen. Unsere Konstrukteure können unabhängig von den Beschränkungen herkömmlicher Fertigungstechnologien agieren und sich vollends auf die Umsetzung des analysierten natürlichen Prinzips konzentrieren“, ergänzt Müller-Lohmeier. Ferner ist der adaptive Greifer DHDG sehr ökonomisch, weil er im Vergleich zu den herkömmlichen Greifern aus Metall rund 80% leichter ist. Verantwortlich dafür ist die additive Fertigung von Kunststoff, mit der besonders leichte, elastische dabei dennoch sehr stabile Strukturen hergestellt werden können. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Greifelemente mehr als fünf Millionen Biegewechseln standhalten. Generativ fertigen heißt immer auch werkzeuglos produzieren. „Wie kosteneffizient das sein kann, zeigt ein Kundenprojekt, bei dem wir 12.000 Bauteile mittels Lasersintern als Alternativ-Technologie hergestellt haben: Die werkzeuglose Fertigung sparte 40% der Stückkosten im Vergleich zum Spritzguss. Alle Teile waren in nur vier Bauaufträgen innerhalb einer Woche produziert. Die konventionelle Fertigung hätte zwei Monate gedauert“, erklärt Müller-Lohmeier. Außerdem reduzieren sich die Folgekosten für Hilfsmittel und Vorrichtungen und es entstehen keine Verzögerungen bei der Erstellung von Werkzeugen. So kann Festo seine Produkte viel schneller am Markt einführen. Der Hightech-Roboterarm ist ein Beispiel für die Umsetzung einer weitgehend digitalen Prozesskette im Bereich der industriellen Fertigung. Müller-Lohmeier fügt hinzu: „Gegenwärtig nutzen wir die EOS-Technologie zusätzlich vermehrt für Projekte, bei denen jährlich nur begrenzte Stückzahlen eines komplexen Teils benötigt werden. In diesen Fällen ist es für uns eine echte Alternative zu bestehenden, oft werkzeuggebundenen Verfahren.“ Vgl. Abb. 4.12

Abb. 4.12 Auspacken des Bionischen Handling-Assistenten: Bereits direkt nach der Herstellung besitzt das Greiforgan seine Funktionalität.
(Quelle: Festo AG & Co.KG).



„Erst durch das Lasersintern konnten der Bionische Handling-Assistent sowie dessen Greiforgan, der adaptive Greifer DHDG, hergestellt werden. Aufgrund der Komplexität und integrierten Funktionalität der Teile gibt es keinen alternativen Fertigungsweg.“

„Der adaptive Greifer DHDG kann durch dieses Verfahren spezifisch an die Applikation angepasst werden und ist so auch schon bei Kunden weltweit im Einsatz.“

Klaus Müller-Lohmeier, Leiter Advanced Prototyping Technology bei der Festo AG & Co. KG

Kurzprofil Festo AG

Festo ist ein weltweit führender Anbieter von Automatisierungstechnik, der durch Innovationen und Problemlösungskompetenz rund um die pneumatische und elektrische Automation als Leistungsführer seiner Branche gilt.

Anschrift:

Festo AG & Co. KG

Ruiter Straße 82

73734 Esslingen – Berkheim (Deutschland)

www.festo.com

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:

EOS GmbH

Electro Optical Systems

Robert-Stirling-Ring 1

82152 Krailling/München

www.eos.info

4.8 3D-gedruckter Fahrradrahmen aus Großbritannien

Erster 3D-gedruckter Fahrradrahmen aus Titan – eine Kooperation von Renishaw und Empire Cycles

Renishaw, Großbritanniens einziger Hersteller einer generativen Fertigungsanlage zum Drucken von Metallteilen, hat sich mit einem führenden britischen Fahrradkonstrukteur-/hersteller zusammengetan, um den weltweit ersten 3D-gedruckten Fahrradrahmen zu schaffen. Empire Cycles hat das Mountainbike extra so entwickelt, um sich Renishaws additive Fertigungstechnologie zunutze machen zu können. Der anhand der Topologie-Optimierung entstandene Titanrahmen ist stabil und 33 % leichter als der originale Rahmen.

Der Rahmen wurde im additiven Laserschmelz-Verfahren in Teilstücken aus einer Titanlegierung gefertigt und zusammengefügt. Das bietet eine Reihe an Vorteilen:

Gestaltungsfreiheit

- Schnelle Iterationen; Flexibilität, Designverbesserungen bis kurz vor der Produktion durchführbar
 - Komplexe Topologie-Optimierung bis hin zur Bionik
 - Optimale kundenspezifische Anpassung – sogar in der Serienproduktion
- Konstruktion
- Komplexe Geometrien mit integrierten Verstärkungen
 - Vielfältige Möglichkeiten des Leichtbaus
 - Integrierte Merkmale, wie zum Beispiel Name des Fahrers
- Hochleistungs-Titanlegierung
- Sattelstützhalter 44 % leichter als die Version aus Aluminiumlegierung
 - Extrem stark – geprüft nach EN 14766
 - Korrosionsbeständig und langlebig

Vgl. Abb. 4.13

Empire Cycles

Empire Cycles ist ein einzigartiger, britischer Entwickler und Hersteller für Fahrräder in Nordwestengland. Das Unternehmen fertigt mit Leidenschaft hochwertige Produkte und bietet Mountainbikern und Downhill-Bikern innovative Designs.

Durch die Zusammenarbeit von Renishaw und Empire Cycles konnte das Fahrraddesign für die additive Fertigung optimiert werden und viele der nach unten zeigenden Oberflächen, die sonst unnötige Stützkörper benötigt hätten, konnten eliminiert werden.

Optimale Festigkeitseigenschaften

Bei einer Verarbeitung mit additiven Fertigungsverfahren besitzen Titanlegierungen eine Zugfestigkeit von über 900 MPa, sowie eine nahezu perfekte Dichte von mehr als 99,7%; dies ist besser als jedes Gussverfahren und, da die Restporosität sowohl klein als auch kugelförmig ist, hat sie wenig Einfluss auf die Festigkeit.

Abb. 4.13 Zusammengebautes Fahrrad mit 3D-gedrucktem Rahmen. (Quelle: RENISHAW GmbH)



Ziel des Projektes ist es, ein voll funktionsfähiges Fahrrad herzustellen; der Sattelstützhalter wurde gemäß Norm EN 14766 (Mountainbikes) geprüft und hat 50.000 Zyklen von 1.200 N standgehalten. Weitere Prüfungen mit bis zu sechsfach höherer Belastung als die Norm erfordert konnten ohne Ausfall durchgeführt werden.

Darüber hinaus ist gegenwärtig die Dauerfestigkeit Gegenstand aktueller Untersuchungen, sowohl im Labor (Kooperation mit Bureau Veritas UK) als auch am Berg unter Verwendung von tragbaren Sensoren (Kooperation mit der Swansea University).

Was ist eine topologische Optimierung?

Der Begriff leitet sich aus dem griechischen Wort für Ort – „topo“ – ab. Topologie-Optimierungs-Software sind Programme, die verwendet werden, um den „logischen Ort“ für Material zu bestimmen – in der Regel unter Verwendung aufeinanderfolgender Schritte und einer Finite-Elemente-Analyse. Material wird aus den Bereichen mit geringer Belastung so lange entfernt, bis ein optimiertes Design für Stützlasten entsteht. Das daraus resultierende Modell ist sowohl leicht (aufgrund des geringen Volumens) als auch stabil. Die historische Herausforderung bei der Herstellung dieser Formen wird mithilfe der additiven Fertigung, bei der physische 3D-Modelle realisiert werden, überwunden.

Ultimativer Leichtbau

Titanlegierungen haben eine höhere relative Dichte als Aluminiumlegierungen (ungefähr 4 g/cm³ Titan, beziehungsweise 3 g/cm³ Aluminium). Die einzige Möglichkeit, eine Gewichtsreduktion an einem Originalbauteil aus Aluminium durch die Verwendung einer Titanlegierungen zu erzielen, besteht also in einer wesentlichen Designänderung. Beim Ansatz für Leichtbaustrukturen wird jegliches Material, welches nicht zur Festigkeit des Bauteils beiträgt, entfernt.

Der originale Sattelstützhalter aus Aluminiumlegierung hat eine Masse von 36 g und die hohle Version aus Titan 200 g – eine Gewichtseinsparung von 44 %.

Dies ist aber nur der erste Schritt, weitere Ansätze, zum Beispiel die forcierte Anwendung bionischer Strukturen mit komplexen Innengeometrien, versprechen weitere Einsparungen des Bauteilgewichts.

Insgesamt hatte der ursprüngliche Fahrradrahmen ein Gewicht von 2100 g. Nach der Neugestaltung, zur Anwendung von additiven Fertigungsverfahren, fiel das Gewicht auf 1400 g – eine Gewichtseinsparung von 33 %.

Vgl. Abb. 4.14

Zwar gibt es leichtere Fahrräder aus Kohlefaser, aber Chris Williams, Geschäftsführer bei Empire Cycles hat seinerseits gute Gründe gegen die Verwendung dieses Werkstoffes: „Die Lebensdauer von Kohlefaser steht in keinem Vergleich zu einem Metallfahrrad. Kohlefaser eignet sich wunderbar für Straßenräder, aber wenn man sich Berghänge hinunterstürzen möchte, riskiert man damit Beschädigungen am Rahmen. Meine Fahrräder sind überspezifiziert, um sicherzugehen, dass keine Mängelansprüche auftreten.“

Wie wurde das Projekt realisiert?

Chris hatte bereits ein 3D-gedrucktes Modell (Maßstab 1 : 1) seines aktuellen Rads hergestellt, bevor er mit Renishaw in Kontakt trat. Er wusste also ziemlich genau, was er erreichen wollte.

Abb. 4.14 Sattelstützhalter aus dem 3D-Drucker. (Quelle: RENISHAW GmbH)



Renishaw hatte ursprünglich zugestimmt, nur den Sattelstützhalter zu optimieren und herzustellen. Nachdem dies so erfolgreich vonstattenging, wurde entschieden, dass der nächste Meilenstein durch einen im Laserschmelz-Verfahren hergestellten Fahrradrahmen definiert werden sollte. Renishaws Anwendungsspezialisten haben Chris sodann beraten, woraufhin dieser sofort eine Idee für ein neues Design hatte. Der Rahmen wurde in Segmente aufgeteilt, damit die 300 mm Bauhöhe der AM250-Anlage voll ausgenutzt werden konnte.

Der wesentliche Vorteil für Empire Cycles liegt in der Leistungsüberlegenheit, die diese Bauweise mit sich bringt. Das Design verfügt über alle Vorteile von gepresstem Stahl in Schalenbauweise, wie es für Motorräder und Autos verwendet wird, ohne jedoch in die Werkzeuge investieren zu müssen, was für einen kleinen Hersteller nicht tragbar wäre.

Die potenzielle Leistung wurde noch nicht vollständig erforscht, aber wir hoffen auf eine Weiterentwicklung des Projekts. Da keine Werkzeuge erforderlich sind, können kontinuierlich Verbesserungen am Design problemlos durchgeführt werden. Vorteilhafterweise basieren die Komponentenkosten im Laserschmelzverfahren nicht auf der Komplexität, sondern ausschließlich auf dem Bauteilvolumen. Dadurch wird die Herstellung von komplexen Leichtbaustrukturen mit einem minimalen Kostenaufwand möglich.



Abb. 4.15 3D-gedruckter Fahrradrahmen im Einsatz. (Quelle: RENISHAW GmbH)

Nachforschungen im Bereich Fügeverfahren führten dazu, dass das Haftmittel von Mouldlife geliefert und durch 3 M, die technischen Spezialisten, die Prüfeinrichtungen bereitgestellt wurden. Wir werden dies zusammen weiterentwickeln und uns iterative Verbesserungen in Bezug auf die Fügeverfahren, wie zum Beispiel spezifische Oberflächenbeschaffenheiten, vornehmen.

Laufräder, Antrieb und Komponenten zur Fertigstellung des Fahrrads wurden von Hope Technology Ltd geliefert.

Vgl. Abb. 4.15

Dieses Projekt hat gezeigt, dass durch eine enge Zusammenarbeit mit dem Kunden sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Wenn Sie eine Komponente haben, die von der additiven Fertigung profitieren könnte, kontaktieren Sie bitte Ihre Renishaw-Niederlassung für weitere Informationen.

Kontakt

RENNISHAW GmbH
www.renishaw.de

4.9 Industrielle Einzelanfertigung individueller iPhone-Cover

Der 3D-Drucker wurde erfunden, um iPhone-Hüllen zu produzieren. Wenn man über die Zeitungsartikel der letzten Jahre zum ersten Mal mit 3D-Druck in Kontakt kam, musste man genau diesen Eindruck haben. Das liegt wahrscheinlich daran, dass iPhones nach wie vor „hipp“ sind und die Individualisierung und der Schutz des geliebten Smartphones so etwas wie ein „Grundbedürfnis“ zu sein scheint. Außerdem können iPhone-Hüllen auch mit „Billigdruckern“ – also zum Beispiel 3D-Drucken der „Marke Eigenbau“ unter 1000 € – hergestellt werden. Kein Wunder also, dass der 3D-Druck der eigenen iPhone-Hülle das Maker-Beispiel überhaupt ist.

Die Realität sieht aber etwas anders aus: Der Löwenanteil von 3D-gedruckten iPhone-Covern stammt aus industriellen 3D-Druckern. Und das ist es, was dieses Beispiel in mehrfacher Hinsicht so interessant macht:

Zum einen ist es ein Anwendungsfall, bei dem 3D-Drucker in Serienproduktion eingesetzt werden – sowohl für Losgröße-eins-Anfertigungen, als auch für normale Serienherstellung mit extrem kurzer Markteinführungszeit.

Zum anderen illustriert es ein bemerkenswertes Phänomen der 3D-Druck-Branche: den positiven Marketing-Effekt den Billigdrucker für industrielle Druckdienstleister haben. Denn die meisten Interessenten für eine 3D-gedruckte iPhone-Hülle haben diesen Bedarf wohl erst durch Presseberichte über Low-End-3D-Drucker entdeckt. Letztendlich gelandet sind sie „bei den Großen“.

Rosarot und Himmelblau

FKM realisiert im Lasersintern modische iPhone-Cover mit individuellem Charakter.

Seit Mitte 2011 produziert FKM für einen niederländischen Händler im „Additive Manufacturing“ pfiffige Schutzhüllen für das iPhone von Apple. Obgleich als Großserie angelegt, bleibt das Design völlig variabel und lässt sich individuell auf die Vorlieben der Endkunden oder wechselnde Modetrends anpassen. Im Mittelpunkt des Fertigungsprozesses steht das Lasersintern von pulverförmigem Polyamid.

Biedenkopf, Februar 2012. – „Unser lasergesintertes iPhone-Cover hat sich in kürzester Zeit zu einem wahren Kultobjekt entwickelt und findet immer mehr Abnehmer“, sagt Jürgen Blöcher, der Firmenchef von FKM. Allein in 2011 lieferte sein Unternehmen etwa 60.000 Stück dieser leichten, elastischen und trendigen Kunststoffschalen an einen Händler in den Niederlanden. Tendenz steigend! Von Beginn an stand dabei nicht nur ein Standarddesign auf dem Programm, sondern eine große Vielzahl ständig wechselnder Farb- und Strukturvarianten. Wirtschaftlich wird diese Art der variablen Großserien-Produktion durch einen automatisierten Fertigungsprozess, den FKM rund um das Lasersintern angelegt hat. „Auf diese Weise können wir heute bis zu 25.000 verkaufsfertige iPhone-Cover in nur drei Wochen liefern“, erläutert Blöcher. Je nach Design wiegen die passgenauen und schützenden Polyamid-Schalen zwischen 15 und 25 Gramm; ihre Wandstärken variieren zwischen 1,0 und 1,5 mm.

Auf dem Weg zum Applestore

Die Losgrößen-orientierte Serienfertigung bei FKM ist ein Paradebeispiel für erfolgreiches „Additive Manufacturing“. Im Zentrum des Produktionsprozesses steht dabei das Lasersintern mit den Anlagen des deutschen Herstellers EOS. In der klassischen Rolle eines mittelständischen Zulieferers deckt FKM aber auch alle nachfolgenden Bearbeitungsschritte ab. Das heißt konkret: Nach dem Lasersintern werden die Cover-Rohlinge zunächst gereinigt und geglättet (trowalisiert). Anschließend erfolgen das abriebfeste Einfärben (extreme Eindringtiefe!) sowie das Trocknen. Das Ende der Leistungskette bilden eine 100-Prozent-Qualitätskontrolle der Passgenauigkeit und das automatische Verpacken. Anschließend gehen die iPhone-Cover an den niederländischen Händler, der sie an den Applestore und andere Abnehmer vermarktet.

So wie FKM das „Additive Manufacturing“ in seinen Hallen praktiziert, eignet sich das Verfahren nicht nur für die kostengünstige Serienproduktion des iPhone-Covers. Durch die gestalterischen Freiheiten des Lasersinterns und den hohen Automationsgrad kann diese Prozesskette für viele andere, ähnliche Consumer- und B-t-B-Produkte genutzt werden. „Auch Cover für Smartphone-Modelle anderer Hersteller oder das iPad haben wir bereits geliefert. Dabei handelt es sich nicht immer gleich um größere Stückzahlen. Mitunter bestellen die Kunden nur limitierte Auflagen für kleine Zielgruppen, besondere Promotion-Kampagnen oder für Veranstaltungen. Jüngst haben wir sogar einige Dutzend personifizierte Cover in Himmelblau und Rosarot realisiert“, berichtet Firmenchef Jürgen Blöcher.

In der Kunststofftechnik gibt es derzeit wohl kein vergleichbares Verfahren, das es ermöglicht, derart flexibel, individuell und wirtschaftlich fertige Serienprodukte herzustellen wie mit der Technologie des „Additive Manufacturing“. Und das Beispiel FKM zeigt einmal mehr, dass diese innovative Produktionsmethode – allen Unkenrufen zum Trotze – längst industrielle Realität ist.

Vgl. Abb. 4.16 und Abb. 4.17



Abb. 4.16 Fertigungshalle mit 3D-Druckern. (Quelle: FKM Sintertechnik GmbH)



Abb. 4.17 iPhone-Cover aus dem 3D-Drucker. (Quelle: FKM Sintertechnik GmbH)

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
FKM Sintertechnik GmbH
Bahnhofstraße 48
35216 Biedenkopf-Wallau
www.fkm-lasersintering.de

4.10 Feuerwehr-Modellautos aus dem 3D-Drucker

Dieses Beispiel stellt die neuen Möglichkeiten durch 3D-Druck im Modellbau exemplarisch vor. Ein originalgetreues Präsentationsmodell eines Feuerwehrfahrzeugs wird mithilfe additiver Fertigungsverfahren erstellt.

Neben dem bemerkenswert hohen Detailgrad des Modelles sind folgende zwei Aspekte erwähnenswert: Die Modellbauteile wurden je nach Einsatzzweck durch unterschiedliche 3D-Druck-Technologien gefertigt – Lasersintering für die größeren, Stereolithographie für die filigraneren, transparenten Bauteile. Eine weitere Besonderheit: Für die CAD-Konstruktion kommt eine kostenfreie Software zum Einsatz – die Open-Source-Software Blender³.

Feuerwehr – frisch aus dem 3D-Drucker

Originalgetreue 3D-Präsentationsmodelle von Rosenbauer Großtanklöschfahrzeugen der Baureihe CBS

Für die Rosenbauer International AG, einem der weltweit führenden Hersteller von Feuerwehrfahrzeugen, fertigte die Rapidobject GmbH aus Leipzig detailgetreue Präsentationsmodelle des hochmodernen Großtanklöschfahrzeugs CBS (Customized Body System) mittels innovativer 3D-Druck-Verfahren. Die aufwendigen 3D-Modelle wurden zu Werbezwecken von der Rosenbauer International AG beauftragt.

Die Rosenbauer International AG beauftragte die Anfertigung der 3D-Druck-Präsentationsmodelle für einen Großkunden. Vorausgegangen war ein Großauftrag beim Hersteller für Feuerwehrfahrzeuge vom saudi-arabischen Innenministerium für die nationale Zivilschutzorganisation „Civil Defense“. Die beiden Präsentationsmodelle, im Maßstab 1:20 und 1:87, wurden von der Rapidobject GmbH, dem Leipziger Spezialisten für die Fertigung von Prototypen und Kleinserien, hergestellt. Durch die langjährige Expertise in der Prototypenfertigung und mit den verschiedenen Rapid-Prototyping-Verfahren (zu denen auch der 3D-Druck – 3DP – zählt), setzte der Full-Service-Dienstleister sämtliche Produktionsschritte um.

Zu Beginn des Projektes gab es zweidimensionale Fotografien und Konstruktionsdaten des Großtanklöschfahrzeugs der Baureihe CBS. Aus diesen Fotos galt es, dreidimensionale Präsentationsmodelle zu modellieren, die ihrem Original zum Verwechseln ähnlich sein sollten.

Die besondere Herausforderung für die Experten lag in der Erstellung der digitalen 3D-Daten. Durch umfassende Modellierungsarbeiten mit der 3D-Grafiksoftware Blender erarbeiteten sie aus den 2D-Informationen dreidimensionale CAD-Daten für die zu druckenden Modelle. Hierbei wurden einzelne Baugruppen generiert, die anschließend für den 3D-Druck angepasst und aufbereitet wurden, wie beispielsweise die Schlauchanschlüsse, verschiedene Rohre, der Werkzeugkasten sowie die Befüllungsluken. Die digitale Zerlegung des Modells in einzelne Teile erleichtert die Nachbearbeitung und bietet sich besonders dann an, wenn die Teile anschließend lackiert werden sollen. In

³ Weitere Informationen zur Software unter www.blender.org.

weiteren Arbeitsschritten wurden unter anderem das Fahrergestell, der Feuerwehrmann sowie die Aufbauten unter Verwendung der Blender-Software modelliert.

Um Material und damit auch Kosten einzusparen, höhlten die Leipziger die digitalen Druckvorlagen einzelner Bauteile aus, wie zum Beispiel das Fahrerhaus oder den Wassertank. Hierdurch konnten 75% Material eingespart werden, was mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht möglich gewesen wäre.

Nach der Erstellung und Optimierung der jeweiligen Baugruppen fügten die 3D-Modellierer die verschiedenen Einzelteile in der sogenannten Abnahmografik am Bildschirm zusammen. In dieser Grafik ist das Modell abgebildet und alle zu druckenden Bauteile sind einzeln sichtbar. Um einen besseren Gesamteindruck der späteren Präsentationsmodelle zu erhalten, erstellten die Experten der Rapidobject GmbH eine weitere Abnahmografik. Bei dieser wurden die Einzelteile als fertiges Modell zusammengefügt und konnten so als Ganzes dargestellt werden. Da die Präsentationsmodelle später durch eine Bodenplatte und eine Plexiglashaube geschützt werden, wurden diese Teile ebenfalls in der Grafik visualisiert. Hierdurch konnten die genauen Abmessungen sowohl für die Plexiglashaube, als auch für die Bodenplatte errechnet werden.

Für die Fertigung der Präsentationsmodelle boten sich zwei Rapid-Prototyping-Verfahren an – zum einen das selektive Lasersinter-Verfahren (SLS) und zum anderen das Stereolithografie-Verfahren (SLA). Beide Verfahren ergänzen sich optimal und ermöglichen die beste Umsetzung hinsichtlich der Materialanforderungen.

Das SLS-Verfahren eignet sich besonders für größere Bauteile und wurde zum Beispiel bei der Herstellung des Fahrerhauses und beim Wassertank eingesetzt. Beim SLS-Verfahren wird Kunststoffpulver durch einen Laserstrahl zur exakt gewünschten Form verschmolzen. Der für die Präsentationsmodelle verwendete Kunststoff zeichnet sich durch seine Stabilität und Langlebigkeit sowie durch die Lackierbarkeit aus. Das SLA-Verfahren hingegen eignet sich besonders für filigrane Bauteile. Bei diesem Produktionsverfahren härtet ein Laserstrahl das in einer Trägerflüssigkeit befindliche flüssige Material aus. Das für die Modelle verwendete Kunststoffmaterial, Accura SI60, ist transparent, belastbar und steif. Es eignet sich ebenfalls für eine anschließende Nachbearbeitung.

Um die originalgetreue Optik der Modelle noch weiter zu verstärken, lieferte die Rosenbauer International AG den Originallack, der auch bei dem Löschfahrzeug verwendet wurde. Nach der Lackierung wurden die einzelnen Teile auf einer grau lackierten Bodenplatte aus Holz zusammenmontiert. Zum Schutz wurden die Modelle unter einer passgenauen Haube aus Plexiglas positioniert und in einem sicheren Transportkoffer an die Rosenbauer International AG versandt.

Am 16. April 2014 war es dann soweit: Die 3D-Modelle wurden an die Vertreter der saudi-arabischen Zivilschutzorganisation „Civil Defense“ im Rosenbauer Stammwerk in Leonding, Österreich, übergeben. Dr. Dieter Siegel, Vorstandsvorsitzender der Rosenbauer International AG, überreichte Major General Abdullah Al Garni die beiden



Abb. 4.18 Fotos vom Löschfahrzeug. (Quelle: Rapidobject GmbH)

originalgetreuen Modelle – frisch aus dem 3D-Drucker! Bei diesem Besuch erhielt Rosenbauer vom saudi-arabischen Innenministerium einen erneuten Großauftrag zur Lieferung von Fahrzeugen und Ausrüstung im Wert von insgesamt 150 Mio. €.

Vgl. Abb. 4.18, Abb. 4.19, Abb. 4.20 und Abb. 4.21

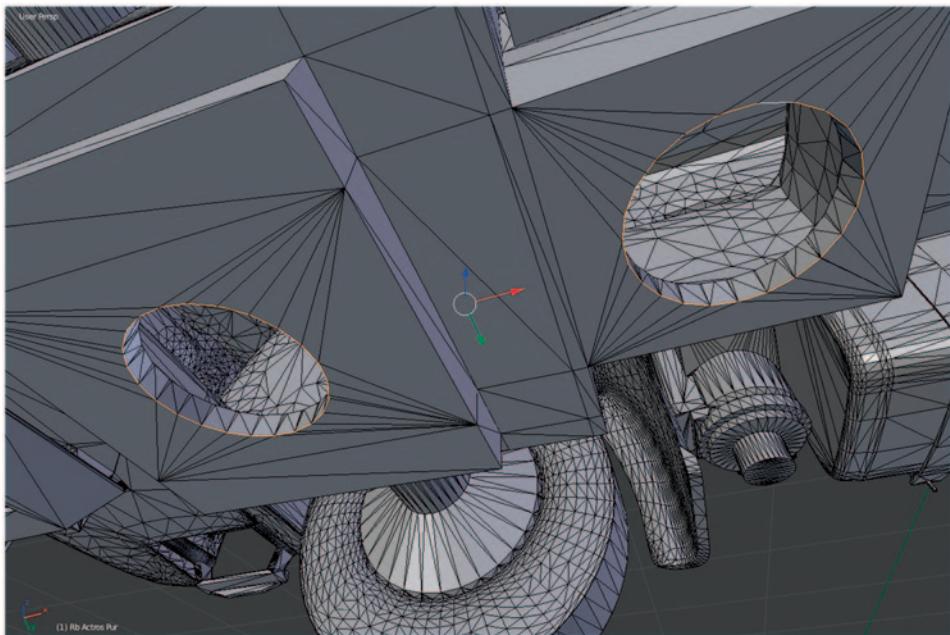


Abb. 4.19 CAD-Modellierung in Open-Source-Software Blender. (Quelle: Rapidobject GmbH)

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
Rapidobject GmbH
Bitterfelder Straße 17
04129 Leipzig
www.rapidobject.com

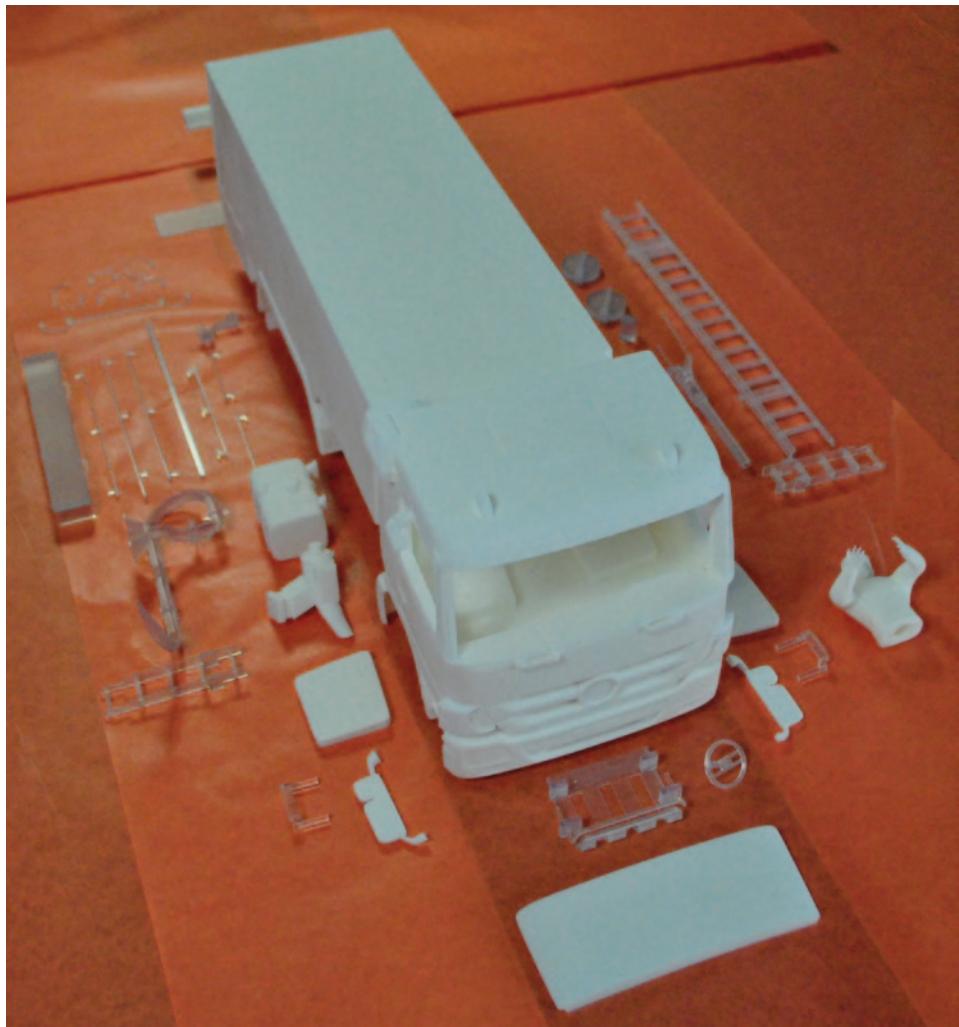
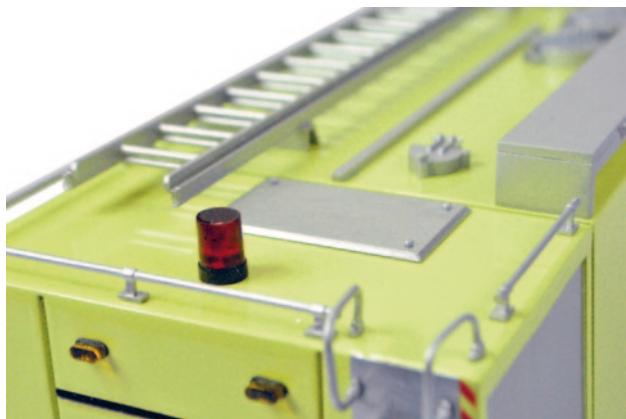


Abb. 4.20 Die 3D-gedruckten Einzelbauteile. (Quelle: Rapidobject GmbH)

Abb. 4.21 Detailansicht des Modells. (Quelle: Rapidobject GmbH)



4.11 Gürtelschale-Prototypen für ein mobiles Notruf- und Ortungssystem

Das folgende Fallbeispiel illustriert den Produktentwicklungsprozess eines einfachen Kunststoff-Bauteils von der Idee (Skizze) über den Prototypen bis hin zum fertigen Spritzgussteil. Der Anbieter agiert hier als Betreuer und Begleiter bis hin zur Serienfertigung.

Was dieses Beispiel besonders interessant macht, ist die Frage, ab wann sich auch eine Serienproduktion dieser Gürtelschnalle durch 3D-Druck rechnet. Je nach Stückzahl und Optimierungspotenzial des Designs oder den Individualitätsansprüchen der Kunden könnte sich in den nächsten Jahren für Teile dieser Art der 3D-Druck als Serienproduktionslösung etablieren.

Gürtelschale für ein mobiles Notruf- und Ortungssystem

Produktentwicklung – vom weißen Blatt Papier über den vollfarbigen 3D-Druck zum Serienbauteil

Ob jung oder alt, jeder möchte das Leben ohne Einschränkung genießen. Genau das ermöglicht das mobile Ortungssystem von GEOCARE, angepasst an die unterschiedlichsten Bedürfnisse des jeweiligen Anwenders.

Jeder kann einmal in eine Notlage geraten, sowohl Kinder, Freizeitaktive und Sportler, chronisch Erkrankte, Senioren oder Menschen, die alleine arbeiten. Mit GEOCARE kann auf Knopfdruck oder per automatischem Notruf Hilfe angefordert werden. Ein eingebauter GPS-Sender ermöglicht das Lokalisieren der in Not geratenen Person.

Speziell für Demenzpatienten war GEOCARE auf der Suche nach einer Möglichkeit zur Anbringung des Gerätes an der betroffenen Person.

Hier kommt die HIC-InnoTec GmbH ins Spiel. In der Produktentwicklungsphase erstellt die HIC-InnoTec GmbH die Produktdefinition nach marktgerechten Kundenbedürfnissen mit der Zielformulierung der Produktidee. Ein Lastenheft mit Zielvorgaben wird als Grundlage für den weiteren Produktentstehungsprozess erstellt.

Das Produkt entsteht am Anfang im Kopf, entwickelt sich von einer Handskizze zu mehreren 3D-CAD-Designmodellen. Jetzt hatte GEOCARE die Möglichkeit, einen der Konzeptvorschläge von HIC auszuwählen. Dieser wurde dann durch einen vollfarbigen Prototypen aus Gipskeramik zum Leben erweckt. Im Fall GEOCARE entstand so ein Gürtelclip zur Designbestimmung. Anhand dieses Prototypen wurden Fehlerquellen vor der Herstellung eines Spritzgusswerkzeugs ausgeschlossen. HIC begleitet den Kunden bei der Weiterentwicklung zur Serienreife bis zur Herstellung der Kunststoffteile als Spritzgussteile.

Vgl. Abb. 4.22, Abb. 4.23, Abb. 4.24 und Abb. 4.25

Abb. 4.22 Skizze der gewünschten Gürtelschnalle.
(Quelle: HIC-InnoTec GmbH)

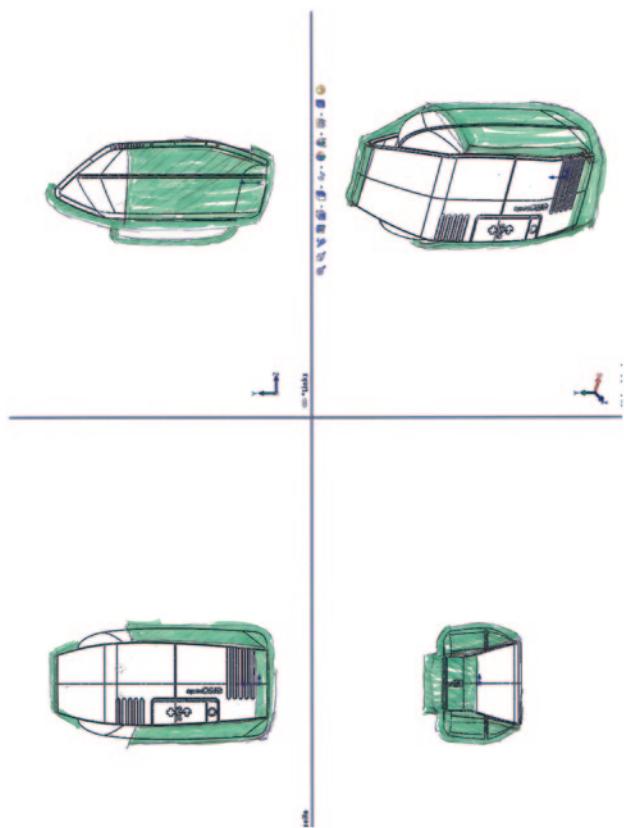


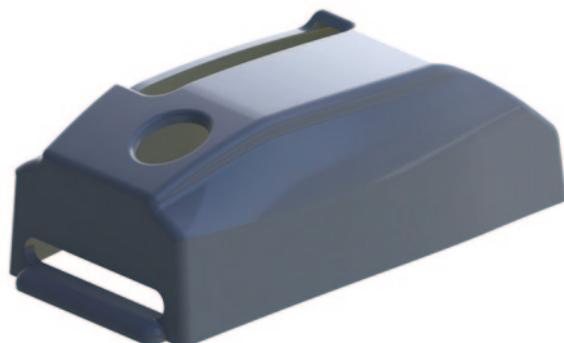
Abb. 4.23 CAD-Modell der Gürtelschnalle. (Quelle: HIC-InnoTec GmbH)



Abb. 4.24 3D-gedruckter Prototyp der Gürtelschnalle.
(Quelle: HIC-Innotec - GmbH)



Abb. 4.25 Serienbauteil (Spritzguss). (Quelle: HIC-InnoTec GmbH)



Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
HIC-InnoTec GmbH
Robert-Koch-Straße 2/1
75015 Bretten
www.hic-innotec.de

4.12 Beschleunigte Entwicklung von Fahrzeugkomponenten durch 3D-Druck

Im folgenden Beispiel wird dargelegt, wie bei der Luxusmarke Bentley durch 3D-Druck der Designprozess beschleunigt wird.

Interessant ist hier unter anderem die Erwähnung von Multimaterial-3D-Druck. Mehrere Materialien zu kombinieren, ist besonders in der Automobilindustrie gewünscht. Im Idealfall möchten Autohersteller beispielsweise einfache Schaltkreise gleich in Kunststoffteile „hineindrucken“. Dies ist allerdings heute noch nicht möglich. Multimaterial-3D-Druck

beschränkt sich wohl vorerst noch auf den Druck von Prototypen und Designmodellen (etwaige geheime Projekte und Fertigungsverfahren mal ausgenommen).

Vom Reifen bis zur Innenausstattung: Bentley Motors setzt bei der Entwicklung auf 3D-Druck-Luxusmodelle

Ein Name, mit dem Werte wie Luxus, Qualität und Liebe zum Detail untrennbar verknüpft sind, muss sich bei der Entwicklung auf die besten Fachkräfte und die besten Technologien verlassen können. Seit den bescheidenen Anfängen 1919 in England widmet sich Bentley Motors Ltd. der Fertigung von Limousinen, die Fahrvergnügen, Kraft und Geschwindigkeit, Komfort und Stil vereinen.

Lange vor der Verbreitung von Unternehmensleitbildern gab der Gründer W. O. Bentley das Ziel aus, „ein schnelles und gutes Auto zu bauen, das seinesgleichen in der Branche sucht.“ Diese Tradition ist auch heute noch ein wichtiger Grundsatz bei Bentley: Jede Phase der Entwicklung vereint innovative Technologie und bewährte Handwerkskunst.

Daher ist es keine Überraschung, dass Bentley seine Entwicklungsabteilung mit dem Desktop-3D-Drucker Objet30 Pro und dem Multimaterial-3D-Drucker Objet500 Connex ausgestattet hat.

Vgl. Abb. 4.26

Dank der patentierten PolyJet-Technologie und 3D-Druckern von Stratasys kann die Designabteilung vor der Serienproduktion schnell und einfach Miniaturmodelle und Bauteile in Originalgröße für Analysen und Tests fertigen. Nahezu jedes Bauteil wird als Miniaturprototyp gefertigt – sogar die Kristallkaraffe.

„Die Präzision des Objet30-3D-Druckers ermöglicht uns, ein Bauteil im Maßstab 1:10 zu fertigen“, erläutert David Hayward, Operations and Projects Manager bei Bentley Design Studio. „Wenn das Bauteil in diesem Maßstab die Tests bestanden hat,

Abb. 4.26 Bentley-Kühlerfigur: Bentley verfeinert nahezu jedes Detail der Innen- und Außenausstattung mithilfe von 3D-Druckern. (Quelle: Stratasys/Bentley)

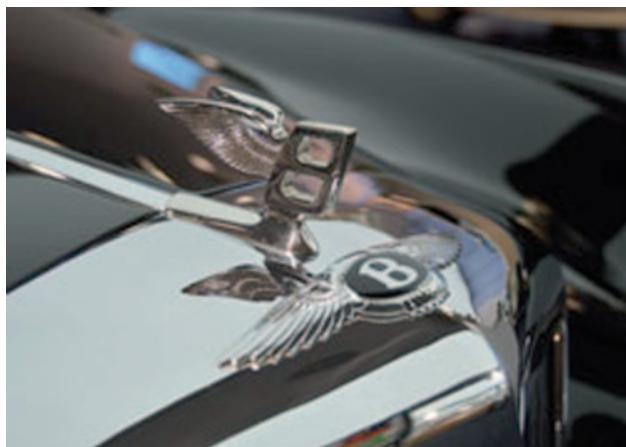


Abb. 4.27 Detailgetreuer 3D-gedruckter Bentley-Kühlergrill: Designer können praktisch jedes Detail der Innen- oder Außenausstattung mithilfe von Objet-3D-Druckern maßstabsgetreu nachbilden. (Quelle: Statasys/Bentley)



können wir mit dem größeren Objet500-Connex-3D-Drucker 1:3-Modelle, Bauteile in Originalgröße und sogar Bauteile mit verschiedenen Materialeigenschaften fertigen, ohne dass wir diese zusammensetzen müssen.“

Vgl. Abb. 4.27

Multimaterialfähig

Dank des Objet500-Connex-3D-Druckers kann die Entwicklungsabteilung außerdem verschiedene Materialeigenschaften in einem einzigen Druckvorgang kombinieren. Ob Felgen und Reifen oder Auspuffverkleidungen in Originalgröße: Die multimaterialfähigen Drucker ermöglichen den Entwicklern von Bentley, Modelle für unterschiedliche Funktionstests mit verschiedenen Materialeigenschaften zu fertigen. So kann ein einziger Prototyp feste und gummiartige, durchsichtige und blickdichte Materialien in sich vereinen – ohne Montageschritte. Sie können also mit einem 3D-Drucker einen Gummireifen fertigen, der bereits auf der Felge sitzt.

Vgl. Abb. 4.28

Laut Hayward kann mit dieser Technologie jedes denkbare Objekt der Innen- oder Außenausstattung eines Autos hergestellt werden. „Wir sind in der Lage, Kühlergrille, Leisten, Scheinwerfer, Seitenspiegel und praktisch jedes Bauteil, das ein Auto hat, als Produktionsmodell zu fertigen.“

Abb. 4.28 Bentley-Reifen und -Felge, 3D-gedruckt aus mehreren Materialien: Der Objet500-Connex-3D-Drucker kann die Felge mit Gummirifen in einem Stück fertigen. (Quelle: Statasys/Bentley)



Bentley kann dank des PolyJet-Materials Gummi mit verschiedenen Härtegraden, Dehneigenschaften und Reißfestigkeiten nachbilden. „Wir können auch Gummikomponenten mit unterschiedlichen Zugfestigkeiten fertigen“, so Hayward weiter. „Mit Hilfe des durchsichtigen Materials haben wir sogar Designs für Glasgegenstände und die Karaffe entwickelt.“

Auch Kevin Baker, Design Model Manager im Bentley Design Studio, ist beeindruckt, wie sein Team den Designprozess durch 3D-Druck revolutioniert hat. „Dank der Rapid-Prototyping-Systeme von Stratasys konnten wir die Entwicklung revolutionieren. Diese Technologie ermöglicht uns die realitätsgetreue Nachbildung der Fahrzeuge.“

Fallbeispiel mit freundlicher Genehmigung von:
Stratasys Ltd.

7665 Commerce Way
Eden Prairie New Mexico 55344, USA
www.stratasys.com

Ausgewählte Unternehmen vorgestellt

5

In diesem Kapitel möchten ich einige ausgewählte Unternehmen detaillierter vorstellen. Wer eine kurze Internet-Recherche startet, wird sehr schnell feststellen, dass es zahlreiche 3D-Druck-Unternehmen gibt. Auch gibt es einige 3D-Druck-Unternehmensverzeichnisse im Internet – die meisten mischen bunt „Ein-Mann-Klitschen“ und börsennotierte Konzerne, unterscheiden nicht zwischen Herstellern von FDM-Druckern für ein paar hundert Euro und Anbietern von Systemlösungen im Millionenbereich.

Im Augenblick kommen quasi täglich neue 3D-Druck-Unternehmen dazu – und die ersten verschwinden bereits auch wieder... Wie wählt man also Unternehmen für ein 3D-Druck-Buch aus?

Bei der Unternehmensauswahl habe ich versucht, folgende Auswahlkriterien zu berücksichtigen:

- Das Unternehmen muss meiner Einschätzung nach für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber relevant sein: Dabei habe ich Unternehmensvorhaben aus dem Maker-Bereich nicht berücksichtigt.
- Das Unternehmen sollte aus Deutschland stammen oder Niederlassungen in Deutschland haben, kurz: Ich habe nur Unternehmen berücksichtigt, die für Sie auch erreichbar und ansprechbar sind¹.
- Das Unternehmen muss gut am Markt etabliert sein und idealerweise Marktführer in seinem Segment sein.

Anschließend habe ich die meisten Kandidaten entweder persönlich besucht oder mich zumindest mit einem relevanten Ansprechpartner ausgetauscht. Auch habe ich versucht,

¹ Zwei große Unternehmen – 3D Systems und Stratasys – konnte ich bisher nicht meinen Vorstellungen entsprechend erreichen.

Firmen aufzunehmen, die einander nicht zu ähnlich sind; stattdessen habe ich mich für die Firma entschieden, die meiner Ansicht nach als Beispiel die passendere ist.

Diese Firmenübersicht ist also keinesfalls vollständig – stattdessen soll sie Ihnen eher ein Wegweiser sein, zu bewährten Anbietern und – ähnlich wie die Fallbeispiele – als Inspirationsquelle dienen.

Die Unternehmensbeschreibungen haben die Firmen selbst geliefert. Sollten Sie konkrete Fragen zur Auswahl eines 3D-Druck-Unternehmens für Ihr Vorhaben haben, freue ich mich über Ihre Kontaktaufnahme.

5.1 SLM Solutions GmbH

Die SLM Solutions GmbH aus Lübeck ist ein führender Anbieter metallbasierter additiver Fertigungstechnologie (auch allgemein als „3D-Druck“ bezeichnet). Das Unternehmen konzentriert sich auf die Entwicklung, Montage und den Vertrieb von Maschinen und integrierten Systemlösungen im Bereich des Selektiven Laserschmelzens (Selective Laser Melting) sowie der Vakuum- und Metallgießanlagen. SLM Solutions beschäftigt derzeit mehr als 80 Mitarbeiter in Deutschland, Asien und den USA. Die Produkte werden weltweit von Kunden in der Luft- und Raumfahrtbranche, dem Energiesektor, dem Gesundheitswesen oder dem Automobilsektor eingesetzt. SLM Solutions steht für technologischen Fortschritt und innovative und hocheffiziente integrierte Systemlösungen.

Vgl. Abb. 5.1



Abb. 5.1 Der neue SLM 500 Lasersinter. (Quelle: SLM Solutions GmbH)

Abb. 5.2 Im Lasersinter-Verfahren hergestelltes Bauteil.
(Quelle: SLM Solutions GmbH)



SLM Solutions verwendet primär das additive (generative) Laserschmelzverfahren. Beim Laser-Melting-Prozess werden mittels CAD-Daten aus Metallpulvern durch 3D-Lasertechnologie homogene Metallteile gefertigt. Dadurch ist es möglich, eine porenen- und rissfreie Struktur aufzubauen. Ziel des Verfahrens sind eine Dichte, Festigkeit und Genauigkeit vergleichbar mit gegossenen Teilen. Die Schichtdicken betragen 0,05 bis 0,3 mm, die Toleranzen erreichen 0,02 mm, und die Oberflächenrauheiten liegen unter 20 Mikrometern. Die im Laser-Melting-Verfahren erstellten Bauteile zeichnen sich durch eine nahezu 100-prozentige Dichte sowie durch homogene und konstante Materialeigenschaften aus. Dieses sehr schnelle und präzise Schichtaufbauverfahren kann mit fast allen Metallen und bestimmten Keramikwerkstoffen angewendet werden. Der Trend zu kleinen Losgrößen in der Fertigung und der Individualisierung von Bauteilen wird durch diese Technologie unterstützt.

Vgl. Abb. 5.2

Als Materialien werden Nichteisenmetalle, Werkzeugstähle (Auswahl an Legierungen 1.2709, 1.4404 (316L), 1.2344 (H 13), 1.4540 (15-5PH)); Edelmetalle und Leichtmetalle wie Titan (Auswahl an Legierungen Reintitan, Ti6Al7Nb, Ti6Al4 V, Grade X Materialien); Aluminium (Auswahl an Legierungen AlSi12, AlSi10 Mg, AlSi7 Mg, AlSi9Cu3, AlMg4,5Mn0,4); Kobalt-Chrom (Auswahl an Legierungen Co212-f nach ASTM F75); Inconel (Auswahl an Legierungen Inconel 625, Inconel 718, Inconel HX (2.4665)) eingesetzt.

Die laser-additive Fertigung eröffnet durch ihre hohe geometrische Freiheit neue Möglichkeiten für die Erstellung hochkomplexer Strukturen/Bauteile. Die SLM-Anlagen werden eingesetzt in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin- und Dentaltechnik, der Automobilbranche, in Forschungs- und Bildungseinrichtungen, der Konsumerelektronik und von Servicedienstleistern für die Erstellung von Bauteilen/Werkstücken.

SLM Solutions deckt den kompletten Bereich von kompakten Anlagen SLM 125 HL für kleine Teile, sowie für Forschungs- und Bildungseinrichtungen über das Universalsystem SLM 280 HL bis zu der Hochleistungsanlage SLM 500 HL ab, die mit vier Lasern schnell, hohoeffizient, große Bauteile erstellt und auch im seriennahen Bereich eingesetzt wird.

Mit der automatischen Pulver-Siebstation PSA 500 geht die Prozessautomatisierung der additiven Fertigung noch einen Schritt weiter. Der Siebprozess läuft vollautomatisch, nimmt keinen Einfluss auf die parallel laufenden Bauprozesse des SLM-Systems und reduziert die unproduktiven Nebenzeiten. Gleichzeitig sorgt das mit der Siebeinheit gekoppelte Ultraschallgerät für eine feinere Korngröße und eine höhere Ausbeute während des Siebvorgangs. Frisches Pulver wird über das Anschlussystem vom Hauptbehälter zugeführt.

Kontakt

SLM Solutions GmbH
Roggenhorster Straße 9c
23556 Lübeck
www.slm-solutions.com

5.2 EOS GmbH Electro Optical Systems

EOS ist Technologie- und Marktführer im Bereich der additiven Fertigung auf Basis des Lasersinterns und bietet integrierte Lösungen für den Kunststoff- und Metallbereich an. Das industrielle Verfahren ermöglicht die schnelle, flexible und kostengünstige Produktion von Bauteilen auf Basis von 3D-CAD-Daten und zu wiederholbaren industriellen Qualitätsstandards. Die Technologie läutet einen Paradigmenwechsel in Produktgestaltung, Konstruktion und Fertigung ein, denn sie ermöglicht ein „Design Driven Manufacturing“ – dabei bestimmt die Konstruktion die Fertigung und nicht umgekehrt. Sie beschleunigt die Produktentwicklung, bietet ein hohes Maß an gestalterischen Freiheiten, optimiert bauliche Strukturen, ermöglicht Leichtbau-Strukturen und fördert die Funktionsintegration. Damit eröffnet EOS seinen Kunden entscheidende Marktvorteile. Die EOS-Technologie setzt dort an, wo konventionelle Fertigungsverfahren an ihre Grenzen stoßen. Oder sie ermöglicht sogar völlig neue Anwendungen auf Basis neuer Werkstoffe, die zuvor gar nicht umsetzbar waren. Zusammen mit Partnern bietet EOS industrielle 3D-Drucklösungen für die komplette Wertschöpfungskette an – vom Prototypenbau bis hin zur Serienfertigung.

Das Unternehmen bietet ein modular aufgebautes Lösungsportfolio an, bestehend aus Kunststoff- und Metallsystemen, Software, Werkstoffentwicklung und Services (Wartung, Schulungen, Anwendungsberatung und -unterstützung). Derzeit sind circa 1500 EOS-Systeme weltweit installiert.

Tooling

Die EOS GmbH wurde 1989 von Dr. Hans J. Langer und Dr. Hans Steinbichler gegründet. Das nicht börsennotierte Unternehmen ist heute im Privatbesitz der Gründerfamilie Langer. Der Hidden Champion aus Krailling bei München, der mittlerweile weltweit

agiert, wurde in den letzten Jahren mit diversen Preisen ausgezeichnet, so etwa mehrmals nacheinander mit dem „Top 100“ Mittelstandspreis, dem „Bayerns Best 50“ Award oder dem „Great Place to work“.

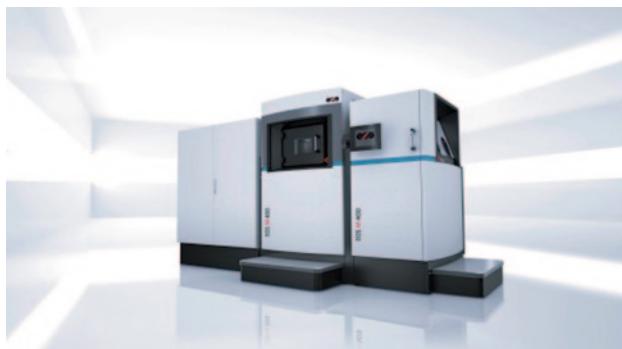
Bereits 1990 wird EOS Technologieführer für High-End Rapid Prototyping (RP) und Entwicklungspartner der europäischen Industrie. EOS bietet zu diesem Zeitpunkt mit der Stereolithografie ein additives Schichtbauverfahren an, das auf Basis von lichtaus härten Flüssigharzen Bauteile erzeugt. 1992 wird das EOS-Schichtbauverfahren erstmalig auf der Dayton RP Conference in den USA präsentiert, zwei Jahre später wird das Produktpotfolio um Lasersinter-Systeme auf Basis von Pulverwerkstoffen erweitert und mit der EOSINT M 160 wird das erste kommerzielle System für das Direkte Metall-Lasersintern (DMLS) vorgestellt. Ab 1997 übernimmt EOS weltweit die Patentrechte für die Lasersinter-Technologie und konzentriert sich fortan auf pulverbasierte additive Schichtbauverfahren. Die Einführung der ersten europäischen Doppelkopfanlage EOSINT P 700 für das Kunststoff-Lasersintern von Prototypen eröffnet Anwendern eine höhere Produktivität/Baugeschwindigkeit und Bauteilqualität bei größerem Bauraum, sowie den Einsatz in der individuellen Serienfertigung.

Im Jahr 2007 beginnt die kommerziellen Nutzung des Lasersinterns für den Dentalbereich: Serienfertigung von Zahnersatz auf Basis des Metall-Werkstoffes EOS Cobalt Chrome SP2 sowie die Einführung des Kunststoff-Lasersinter-Systems FORMIGA P 100, das mit der „FORMIGA-Qualität“ neue Maßstäbe setzt. Der FORMIGA P 100 wird 2008 mit dem Deutschen Innovationspreis ausgezeichnet. Vgl. Abb. 5.3

Kontakt

EOS GmbH Electro Optical Systems
Robert-Stirling-Ring 1
82152 Krailling
www.eos.info

Abb. 5.3 EOS M 400-System für das Direkte Metall-Lasersintern (DMLS). Die modulare, erweiterbare Plattform bereitet die EOS-Technologie auf den Einsatz in industriellen Produktionsumgebungen vor.
(Quelle: EOS)



In den folgenden Jahren wurde das Angebot an Systemen stetig optimiert und erweitert, neue Nachfolgemodelle kommen auf den Markt. Einen klaren Schritt in Richtung Serienfertigung markiert das System EOS M 400 für das Direkte Metall-Lasersintern, das erstmalig auf der EuroMold 2013 in Frankfurt vorgestellt wurde.

5.3 Concept Laser GmbH

Die Concept Laser GmbH ist ein eigenständiges Unternehmen im Verbund der Hofmann Innovation Group GmbH aus Lichtenfels (D). Das Unternehmen ist seit seiner Gründung im Jahre 2000 treibender Innovator auf dem Gebiet der Laserschmelz-Technologie mit dem patentierten LaserCUSING® branchenübergreifend tätig.

Der Begriff LaserCUSING®, zusammengesetzt aus dem C von CONCEPT-Laser und dem englischen FUSING (d. h. „vollständig aufschmelzen“) beschreibt die Technologie: Das Schmelzverfahren generiert Schicht für Schicht Bauteile unter Verwendung von 3D-CAD-Daten.

Das Verfahren ermöglicht es, komplexe Bauteilgeometrien werkzeuglos zu fertigen, um Geometrien als Bauteile zu realisieren, die mit konventionellen Herstellungsmethoden nur sehr schwierig oder überhaupt nicht herstellbar sind.

Mit dem LaserCUSING®-Verfahren können sowohl Werkzeugeinsätze mit konturnaher Kühlung als auch Direktbauteile für die Branchen Schmuck, Medizin, Dental, Automotive, Luft- und Raumfahrt gefertigt werden. Dies gilt für Prototypen und Serienteile. Angeboten werden Standardanlagen und kundenspezifische Anlagenkonzepte für das Metall-Laserschmelzen. Full-Service als Option bedeutet für Concept Laser: Die Kunden können Anlagen zum Metall-Laserschmelzen beziehen oder direkt auf Dienst- und Entwicklungsleistungen zurückgreifen. Vgl. Abb. 5.4

Die Laserbearbeitungsanlagen von Concept Laser verarbeiten Pulverwerkstoffe aus Edelstahl, Warmarbeitsstählen, Kobalt-Chrom-Legierung, Nickelbasislegierung sowie reaktive Pulverwerkstoffe wie Aluminium- und Titanlegierungen. Edelmetalle wie Gold- oder Silberlegierungen für die Schmuckherstellung werden auch angeboten.

LaserCUSING® eröffnet neue Perspektiven in puncto Wirtschaftlichkeit und Geschwindigkeit zur effizienteren Produktentwicklung in Branchen wie:

- Schmuck
- Medizin- und Dentaltechnik
- Luft- und Raumfahrtindustrie
- Werkzeug- und Formenbau
- Automobilbau und Rennsport
- Maschinenbau

Die Anlagen verkürzen die Entwicklungszeiten und reduzieren deutlich die Entwicklungs-kosten, bei einer deutlich höheren Flexibilität in der Produktentwicklung.

Abb. 5.4 Einsatz von LaserCUSING in der Medizin. (Quelle: Concept Laser GmbH)



Die hohen qualitativen Ansprüche, das Niveau der Erfahrung und die Referenzen von Concept Laser stehen für prozesssichere und kosteneffektive Lösungen, die im Produktionsalltag ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen und primär auf Stückkostenreduktionen ausgerichtet sind. Die Hofmann Innovation GmbH erwirtschaftete im Jahre 2012 mit rund 500 Mitarbeitern 85 Mio € Umsatz.

Kontakt

Concept Laser GmbH
An der Zeil 8
D-96215 Lichtenfels
www.concept-laser.de

5.4 voxeljet AG

voxeljet ist ein führender Hersteller industrietauglicher 3D-Drucksysteme und betreibt eines der größten Dienstleistungszentren Europas für die „On-Demand-Fertigung“ von Formen und Modellen für den Metallguss.

Der Geschäftsbereich voxeljet SYSTEMS ist für die Entwicklung, die Herstellung und den Vertrieb der marktweit schnellsten und leistungsfähigsten 3D-Drucksysteme zuständig. Heute verfügt voxeljet über eine fein abgestimmte Produktrange, die vom kleineren Einstiegsmodell bis hin zu Großformatmaschinen reicht, und kann damit für nahezu jede Aufgabenstellung das perfekte 3D-Drucksystem bieten.

Im fortschrittenen Dienstleistungszentrum des Geschäftsbereichs voxeljet SERVICES werden auf Abruf Sandformen und Kunststoffmodelle nach CAD-Daten gefertigt. Hersteller von Kleinserien und Prototypen schätzen die werkzeuglose und automatische Herstellung ihrer Gussformen und 3D-Modelle. Zum Kundenkreis des Unternehmens zählen renommierte Automobilhersteller und ihre Zulieferer, Gießereien sowie innovative Unternehmen aus der Kunst- und Designbranche. Vgl. Abb. 5.5

Der rege Informationsaustausch zwischen den beiden Geschäftsbereichen und die enge Verzahnung von Entwicklung und Produktion führen zu Synergieeffekten, von denen sowohl Kunden als auch voxeljet gleichermaßen profitieren. Die im Kundendialog gewonnenen Erfahrungswerte fließen in beide Geschäftsbereiche zurück und werden dort in neue, wegweisende Lösungen und Angebote umgesetzt. Die einmalige Kombination aus fachlichem Know-how und sich stetig verbessernder Technologie macht voxeljet zum weltweit geschätzten Partner für anspruchsvolle Kunden aus der Welt des 3D-Drucks.

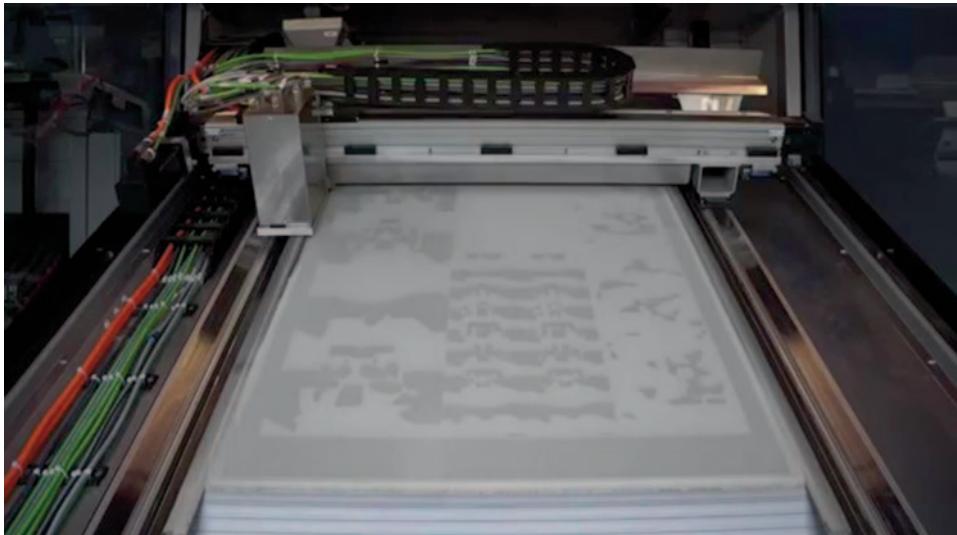


Abb. 5.5 Kontinuierlich arbeitender 3D-Drucker. (Quelle: voxeljet AG)

Kontakt

voxeljet AG
Paul-Lenz-Straße 1
86316 Friedberg
www.voxeljet.de

5.5 Alphaform AG

Alphaform AG ist ein seit den 1990er-Jahren tätiger Dienstleister in den Bereichen Rapid Prototyping und Additive Manufacturing. Mit über 40 3D-Druckern, einem breit aufgestellten Portfolio an Technologien und insgesamt 240 Mitarbeitern begleitet die Alphaform AG ihre Kunden und deren Produktentwicklung von der ersten Idee bis hin zur Serie.

Alphaform entstand Anfang der 90er-Jahre als Spin-off mit Fa. EOS, Krailling und wurde 1995 ein eigenständiger Dienstleister. Weiterer Meilenstein in der Firmengeschichte war der Börsengang im Jahre 2000, seitdem besitzt Alphaform die Rechtsform einer AG.

Europaweit ist Alphaform inzwischen zu einem führenden Anbieter im Additive Manufacturing geworden. Alphaform zeichnet sich besonders durch kurze Produktionszeiten und ein Komplettangebot aus. Es wird nicht nur ein Prototyp gefertigt oder die Serienentwicklung entworfen, sondern auch das Werkzeug/die Form gebaut, das Bauteil gefertigt, markiert, sterilisiert, oberflächenbehandelt, lackiert, verpackt und versendet. Vgl. Abb. 5.6

Dabei arbeitet Alphaform nach zertifiziertem Qualitätsmanagement DIN EN ISO 9001 und ISO EN 13485.

Abb. 5.6 Beispiel F1 Kieme.

(Quelle: Alphaform AG)



Zum Kundenstamm zählen viele namhafte Automobil-Original-Equipment-Manufacturer (OEM, d. h. „Erstausrüster“) sowie deren Zulieferer der ersten bis dritten Reihe. Zudem ist man in Branchen wie weiße Ware, Luft- und Raumfahrt, Rennsport, Elektronik, Maschinenbau und Design mit diversen Dienstleistungen verankert.

Zu diesen Dienstleistungen zählen:

- Stereolithographie
- Selektives Lasersintern
- PolyJet- 3D-Drucker (PolyJet, Voxeljet)
- Metallbeschichtung
- Galvanoforming
- Chrombedämpfung
- Vakuumguß
- Laminierarbeiten
- CNC-Fräsen
- Reaction Injection Moulding (RIM)
- Rapid Tooling

Darüber hinaus bietet Alphaform folgende Beratungsleistungen an:

- Beratungsleistungen
Hierbei wird dem Kunden Hilfestellung geleistet, wenn es um Fragestellungen hinsichtlich der ersten Prototypen und Vorserien geht. Dies trifft insbesondere bei der Auswahl der Werkstoff- und Fertigungsverfahren zu.
- Engineering-Leistungen
Zusammen mit einem externen Partner und je nach gewählter Fertigungsmethode entwirft und modifiziert Alphaform Teilegeometrien und Werkzeuge, um das Potenzial der Technologien voll auszuschöpfen.
- Für Kleinserien wird der Design-to-Manufacturing-Ansatz gewählt.
So kann zum Beispiel ein Bauteilmerge für leichtere Montage und Handhabung, Leichtbauweise durch bionische Strukturen oder aber zusätzliche Features wie Rasthaken, Schnapper oder Clipse konstruiert werden.
- Technischer Service
Full-Service für Stereolithographie-Anlagen, einschließlich Anlagentechnik und Anlagenoptimierung, Schulung der Mitarbeiter, Wartung und Rohstoffversorgung. Hierbei wird unter anderem der Laser kalibriert und es werden Parametereinstellungen und der Fokuspunkt optimiert.

Kontakt

Alphaform AG
Kapellenstraße 10
85622 Feldkirchen
www.alphaform.de

5.6 4D Concepts GmbH

4D Concepts ist ein führender Anbieter von 3D-Druck, Rapid Prototyping und Modellbau-Dienstleistungen, als auch langjähriger Vertriebs- und Servicepartner für professionelle 3D-Druckersysteme. Die vierte Dimension – die Zeit – spiegelt schon im Firmennamen die Zielsetzung von 4D Concepts wider, nämlich die schnellstmögliche Umsetzung der Idee des Kunden in ein dreidimensionales Modell.

Gegründet 1995 von Rainer Neumann versteht sich 4D Concepts mit Firmensitz in Gross-Gerau bei Frankfurt als Full-Service-Provider rund um die additive Fertigung.

Mit innovativen 3D-Drucktechnologien wie zum Beispiel ColorJet Printing, MultiJet Printing, PolyJet, Stereolithographie, Lasersintern sowie einem konventionellen Modellbau inklusive Fräsen, Vakuumgießen und Niederdruckspritzen, setzt 4D Concepts die Ideen und Entwicklungen seiner Kunden je nach Anforderung mit der am besten geeigneten Technologie oder Prozesskette in begreifbare Bauteile um.

Falls keine 3D-Daten vorhanden sind, bietet die Konstruktion von 4D Concepts den Einstieg. Von der Idee auf dem Bierdeckel ausgehend oder basierend auf 2D-Zeichnungen erstellt das Unternehmen 3D-Daten bei Bedarf mittels aktuellen 3D-CAD-Programmen wie zum Beispiel SolidWorks oder Kreativsystemen wie das taktile „Force-Feedback“-System Freeform.

Innerhalb kürzester Zeit realisiert 4D Concepts dann Bauteile für verschiedenste Anwendungen – vom Anschauungsmodell für Formfindung, Variantenerprobung und Präsentation über Funktionsprototypen für Einbauuntersuchungen und Funktionsprüfungen bis hin zu Kleinserien in seriennaher Qualität entweder direkt über 3D-Druckverfahren oder über Duplizierungsverfahren wie Vakuumgießen, Niederdruckspritzen oder Tiefziehen. Vgl. Abb. 5.7

Seriencharakter verleiht 4D Concepts seinen Prototypen durch Oberflächenveredelungen, wie zum Beispiel Lackieren oder durch Beschichtungsverfahren, je nach Anforderung.

Der Nutzen für die Kunden liegt in der Fertigungs- und Technologietiefe im direkten Zugriff und damit verbundenen schnellsten Lieferzeiten und maßgeschneiderten Lösungen. Nahezu alles ist möglich – „The skies are the limit“.

Im zweiten Produktbereich vertreibt 4D Concepts seit 1998 professionelle 3D-Druckerlösungen. Als autorisierter Vertriebs- und Servicepartner der Kisters AG ist es ein An-

Abb. 5.7 Sprühpistolen-Prototyp. (Quelle: 4D Concepts GmbH)



liegen des Unternehmens, „3D-Druckerlösungen von Anwendern für Anwender“ anzubieten. Das Produktpotfolio umfasst verschiedene 3D-Drucktechnologien des CJP ColorJet Printings und des MJP MultiJet Printings mit dem Fokus auf maßgeschneiderte Lösungen für die jeweilige Anforderung.

CJP-Systeme zeichnen sich durch Eigenschaften wie enorme Druckgeschwindigkeit, effiziente Betriebskosten und den immer noch einzigartigen Vollfarbdruck aus. Typische Anwendungen sind Formfindung, Variantenerprobung, Präsentation und Kommunikation frei nach dem Motto: „Wenn eine Zeichnung mehr sagt als 1000 Worte, dann sagt ein greifbares Modell mehr als 1000 Zeichnungen.“

Die MJP 3D-Drucker setzen den Standard in ihrer Klasse in puncto Detailauflösung, Oberflächenqualität und einfacher Bedienung. Minimale Wandstärken von bis zu 0,25 mm, beste Oberflächen durch minimale Schichtdicken von 0,016 mm und einfache risikolose Nachbearbeitung der Modelle durch Abschmelzen der Supportgeometrie machen den Unterschied.

Eine Beratung in der Evaluierung, marktgerechte Preisgestaltung und vor allem ein erstklassiger Service und Support bilden die Basis für die über 150 Kunden von 4D Concepts, quer durch alle Branchen.

Kontakt:

4D Concepts GmbH
Frankfurter Str. 74
64521 Gross Gerau
www.4dconcepts.de

5.7 Materialise GmbH

Materialise ist ein europaweit führender Dienstleister und Softwareentwickler für additive Fertigung und Rapid Prototyping – sowohl in der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik als auch in der Forschung. In den Bereichen 3D-Druck und digitale CAD-Software ist das Hightech-Unternehmen Marktführer mit Niederlassungen weltweit.

Das Unternehmen hat insbesondere in den letzten zehn Jahren ein sehr starkes Wachstum erlebt und ist seit dem 25. Juni 2014 an der NASDAQ-Börse gelistet.

Materialise verfügt mit mehr als 20 Jahren Erfahrung im Prototypenbau über höchst moderne Fertigungstechnologien, Materialien und Endfertigungsgrade. Die Rapid-Prototyping-Services nutzen umfangreiche Technologien wie das Selektive Lasersintern, die Stereolithographie, die Mammut-Stereolithographie, das Fused Deposition Modeling, das PolyJet-Druckverfahren sowie das Z-Corp 3D Printing. Für Prototypenserien steht Materialise unter anderem ein komplett ausgestattetes Werk für Vakuumguss zur Verfügung.

Seit der Gründung von Materialise ist die additive Fertigung der Kernbereich von deren Arbeit. Die eigenen innovativen Technologien, ergänzt durch hauseigene Software, sorgen dafür, dass die Kunden das Unternehmen als Partner für ihren AM-Bedarf wählen. Dieser Bedarf reicht von der Erstellung von Prototypen über die Serienproduktion und die Fertigung von (sowohl industriellen als auch medizinischen) Funktionsteilen bis hin zur Konstruktion und Prozessautomatisierung und -optimierung. Die RapidFit+-Lösungen des Unternehmens für die Bauvorbereitung im AM-Bereich generieren Stützstrukturen, ordnen die Bauteile optimal auf der Plattform an und verwalten die AM-Maschinen. Die Lösungen für Patienten automatisieren die Konstruktion von patientenspezifischen chirurgischen Schablonen und Implantaten und ermöglichen es, einfach und präzise 3D-Computermodelle anhand anatomischer Daten zu erstellen. Vgl. Abb. 5.8

Das Unternehmen ist in acht miteinander verbundenen Geschäftseinheiten (Business Units) organisiert, die jeweils auf einen speziellen Markt fokussiert sind: Additive-Manufacturing-Lösungen (Prototypenbau und Produktion beziehungsweise Serienproduktion), Software für Additive Manufacturing, Biomedizintechnik (Orthopädie, Medizintechnik in der Schädel-, Kiefer- und Gesichtschirurgie), RapidFit+ (Lösungen für Befestigungselemente), MGX und iMaterialise für Designer und Kreative.

Mit ihrem schnellen Materialise-OnSite-Rapid-Prototyping-Service bieten Materialise Online-Berechnung 24 Stunden am Tag, sieben Tage in der Woche an. Der Kunde lädt



Abb. 5.8 Angebot der Materialise GmbH. (Quelle: Materialise GmbH)

seine Designdatei hoch, wählt die passende Technologie und den Endfertigungsgrad aus, und erhält einen fertigen Prototyp.

Kontakt

Materialise GmbH
Friedrichshafener Str. 3
82205 Gilching
www.materialise.de

5.8 Alphacam GmbH

Mehr als zwei Jahrzehnte bietet alphacam „SOLUTIONS FOR A 3D WORLD“ mit Vertrieb und Service von CAD/CAM-Software, 3D-Printern und Additive-Manufacturing-Anlagen bis hin zur Fertigung von 3D-Bauteilen auf diesen Anlagen als Dienstleistung.

Seit 1994, der Markteinführung des FDM-Verfahrens in Deutschland, wurde alphacam als weltweit erfolgreichster Partner von Stratasys mehrfach ausgezeichnet, zuletzt als Platinum-Partner.

2013 wurde das Angebot um die PolyJet-Technologie der Objet-Anlagen erweitert. alphacam ist einziger Komplettanbieter der weltweit führenden 3D-Technologien in Deutschland, Österreich und der Schweiz, der auch den vollständigen Service mit Berat-

tung, Musterbearbeitung, Schulung Verbrauchsmaterial, Wartungsverträgen und Reparatur in eigener Verantwortung leistet.

Teilefabrik

Die additive Herstellung von Bauteilen in den unterschiedlichsten thermoplastischen Materialien bietet alphacam als Dienstleistung an. Europas modernster und größter Maschinenpark von FDM-Anlagen, darunter mehrere FORTUS 900mc, steht zur Verfügung.
fabberhouse

„fabberhouse 3D-printing for everybody“ ist die Lösung für alle, die 3D-Daten in eigener Regie in Kunststoffteile verwandeln möchten. Der Kunde erstellt selbstständig die 3D-Printdatei, übermittelt diese an fabberhouse und erhält wenige Tage später die Produkte geliefert.

Kontakt

alphacam GmbH
Erlenwiesen 16
73614 Schorndorf
www.alphacam.de

5.9 iGo3D GmbH 3D-Printers

iGo3D unter der Leitung von Tobias Redlin und Michael Sorkin ist als erster deutscher Onlineshop der Pionier im Heimgebrauch für 3D-Drucker und 3D-Scanner.

Interessierten bietet das Ladengeschäft seit September 2013 einen Einblick in die 3D-Druck-Technologie. Es besteht die Möglichkeit, sich die Geräte im Betrieb anzusehen und zu erwerben. Darüber hinaus bietet iGo3D Dienstleistungen an – so kann jeder 3D-Objekte vor Ort scannen und sofort ausdrucken.

Für Privatanwender, die diese Thematik kennenlernen möchten, bietet iGo3D Workshops sowie Webinare (teilweise kostenlos) zu diesem Thema an.

Ultimaker drucken mit PLA Filament

Das Portfolio von iGo3D umfasst 3D-Drucker-Modelle führender Hersteller wie Ultimaker (z. B. Ultimaker Original, Ultimaker 2), Builder (z. B. Builder 3D), WitBox, 3D Systems (z. B. CubeX 2ND, Cubex, Cubex Duo/Trio), Leapfrog (z. B. Leapfrog Creatr) Felix und den PrintMATE. 3D-Scanner von David Laserscanner SLS-1 oder als Starter-Kit, Cubik-Desktop-3D-Scanner; Filamente (ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)/PLA (Polylactide)-Filamente in zahlreichen Farben mit 1.75 mm oder 3 mm Durchmesser. Daneben aber auch Holz-Filamente (Laywood 1.75 mm/3 mm), Sandstein-Filamente (Laybrick 1.75 mm/3 mm), T-Glace-Nylon-Filamente (Taulman 618/645) sowie Glow-in-the-Dark-Filamente.

3D-Software von Vota, NetFabb Private/Prof/Edu und umfassendes 3D-Druckzubehör zur Vor- und Nachbearbeitung stehen ebenfalls zur Verfügung.

iGo3D arbeitet mit Filament-Herstellern aktiv zusammen und hat kürzlich das neue Premium-Filament, welches noch bessere Druckergebnisse liefert, hervorgebracht. Des Weiteren unterstützt iGo3D das FabLabb Oldenburg in seiner Forschung und Entwicklung in dem 3D-Druck-Segment.

Kontakt

iGo3D GmbH
Am Brabrinke 14
30519 Hannover
www.igo3d.com

5.10 HIC-InnoTec GmbH

„Von der Idee zum Produkt“ – als Ingenieurdienstleister in den Bereichen Prototypenbau – 3D-Druck, Objektdigitalisierung – 3D-Scan, Automobilentwicklung, Handling-Systeme sowie Sondermaschinenbau bietet HIC-InnoTec GmbH ein umfassendes Dienstleistungspaket für die verschiedensten Branchen der Industrie.

Beispielsweise für Präsentationsmodelle erstellt das Unternehmen mit seinem haus-eigenen 3D-Drucker schnell und kostengünstig vollfarbige Prototypen für vielfältige Anwendungsgebiete:

- Konzeptmodelle – bessere Kommunikation zwischen Herstellern, Kunden und Mitarbeitern
- Präsentationsmodelle – für Kunden und Investoren
- Prototypen – Funktionsprüfung und Fehlervermeidung
- Modellbau
- Lebensechte Darstellung

Es handelt sich hierbei um ein additives Verfahren auf Basis von Polymergips. Kleinste Details ab 0,1 mm und Strukturwände ab 0,5 mm sind ebenso möglich wie realistische Farben (160.000 Farben) ohne Anstrich oder Lackierung. Ein weiterer Vorteil ist die kurze Produktionszeit zu einem günstigen Preis. Bei anderen Verfahren wird mit diversen Kunststoffen, Metallen oder Wachs gedruckt.

Für diese Branchen arbeitet die HIC-InnoTec GmbH:

- Architektur
- Maschinenbau

- Medizintechnik
- Produktdesign
- Prototypenbau
- Schmuck- und Uhrenindustrie
- Spielwaren- und Unterhaltungsindustrie
- Städteplanung/Geodatenverarbeitung

Grundlage für ein perfektes Ergebnis sind die 3D-CAD-Daten. Sollten Sie keine verfügbaren oder nur für den 3D-Druck unzureichende Daten haben, können die erfahrenen Konstrukteure der HIC-InnoTec GmbH eine druckbare Datei erstellen.

Eine andere Möglichkeit der Datenerzeugung bietet die HIC-InnoTec GmbH mittels Laserscann. Nicht nur für die Erfassung von kleinen Objekten wie beispielsweise Skulpturen kann ein 3D-Scanner zum Einsatz kommen.

Mit hoher Präzision und Geschwindigkeit lassen sich sogar große Objekte wie Gebäude, Fabrikhallen sowie Maschinenanlagen von innen und außen digitalisieren – hochauflösend und in Farbe.

In diesen vom Scanner erzeugten Daten können Flächen- und Distanzmessungen durchgeführt werden.

Kontakt

HIC-InnoTec GmbH
Robert-Koch-Straße 2/1
75015 Bretten

5.11 KISTERS AG

Die KISTERS AG ist Distributor für ZPrinter ProJet 3D-Drucker.

Immer mehr Unternehmen setzen auf eine eigene „Inhouse“-Rapid-Prototyping-Lösung, um schnell und unabhängig Funktion und Design von Entwürfen und Konstruktionen zu kommunizieren und zu prüfen. Bei der Auswahl der geeigneten Technologie darf jedoch nicht nur der Anlagenpreis im Vordergrund stehen, vielmehr ist die Betrachtung der Materialfolgekosten und der Produktivität einer 3D-Drucktechnik bei der Systementscheidung unabdingbar.

Die KISTERS AG berät Ihre Kunden/Sie im Hinblick darauf, welche Auswahlkriterien für individuelle Anforderungen relevant sind und wie Sie/sie eine sichere und wirtschaftliche Investitionsentscheidung zum Kauf einer 3D-Drucktechnik herbeiführen.

In Deutschland und Österreich werden die ZPrinter ProJet 3D-Drucker über zertifizierte Fachhändler der KISTERS AG vertrieben.

Als Distributor für die ZPrinter ProJet 3D-Drucker begleiten die KISTERS AG Sie gerne bei der Ihnen bevorstehenden Systemauswahl bis hin zur Ausschreibung oder Bebeschaffung.

Die KISTERS AG unterhält in Deutschland ein Zentrallager für Maschinen, Ersatzteile und Betriebsmittel. Daraus resultiert für den Kunden eine sofortige Verfügbarkeit von Maschinen, Ersatzteilen und Betriebsmitteln.

Sechs ZPrinter ProJet 3D-Drucker hat das Unternehmen in seinem Produktportfolio:

- ProJet 860Pro,
- ProJet 660Pro,
- ProJet 460Plus,
- ProJet 360,
- ProJet 260C und
- ProJet 150.

Der Handelskanal des Unternehmens bietet diese Geräte jeweils als Vor-Ort-Start-Paket an. Dies bedeutet, dass die Geräte beim Kunden installiert und dessen Mitarbeiter geschult werden. In den Preisen sind bereits die 3D-Drucksoftware und eine großzügige Betriebsmittel-Erstausrüstung enthalten.

Kontakt

KISTERS AG
Pascalstraße 8+10
52076 Aachen
www.kisters.de

5.12 Schultheiss und Rapid Shape

Rapid Shape wurde 2011 von Andreas Schultheiss, einem Gesellschafter der Schultheiss GmbH, gegründet. Das Unternehmen bietet vor allem interessante Manufacturing-Systeme für die Schmuckproduktion. Es werden derzeit drei Rapid-3D-Modelle für die Produktion von Formen für das Wachsaußschmelzverfahren angeboten. Die Drucker arbeiten mithilfe eines lichtsensitiven Harz, das bei Belichtung aushärtet (siehe Stereolithografie).

Im Unterschied zu anderen Systemen verfügen die „Drucker“ über eine Druckgeschwindigkeit von 10 mm in 10 min und sind damit derzeit die schnellsten erhältlichen bei sehr hoher Präzision.

Kontakt

Schultheiss und Rapid Shape
Römerstr. 21
71296 Heimsheim
www.rapidshape.de
www.schultheiss-gmbh.de

5.13 PTZ-Prototypenzentrum GmbH

Das PTZ-Prototypenzentrum fertigt Prototypen und Kleinserien in Kunststoff und Metall. Hierbei werden besonders die Anforderungen an Serienteile mit hohem Individualisierungsfaktor erfüllt. In der 1996 gegründeten PTZ-Prototypenzentrum GmbH fertigen 17 Mitarbeiter mit modernsten Technologien Erstmodelle, Werkzeuge und Kleinserien für deutsche und europäische Kunden unter anderem aus der Automobilindustrie sowie der Medizin und Gerätetechnik.

Markenhersteller wie Siemens, Bosch, BMW, Ferrari und Ducati sowie viele mittelständische Unternehmen schätzen die Vielfalt an Technologien im Hause PTZ. Hierfür verfügt es über ein umfangreiches Spektrum an Verfahren aus dem Additive Manufacturing, dies sind die Stereolithographie, das Selektive Lasersintern, das Metall-Lasersintern/Strahlschmelzen sowie der Wachsdruck.

Kontakt

PTZ-Prototypenzentrum GmbH
Otto-Mohr-Str. 15
01237 Dresden
www.ptz-prototypen.de