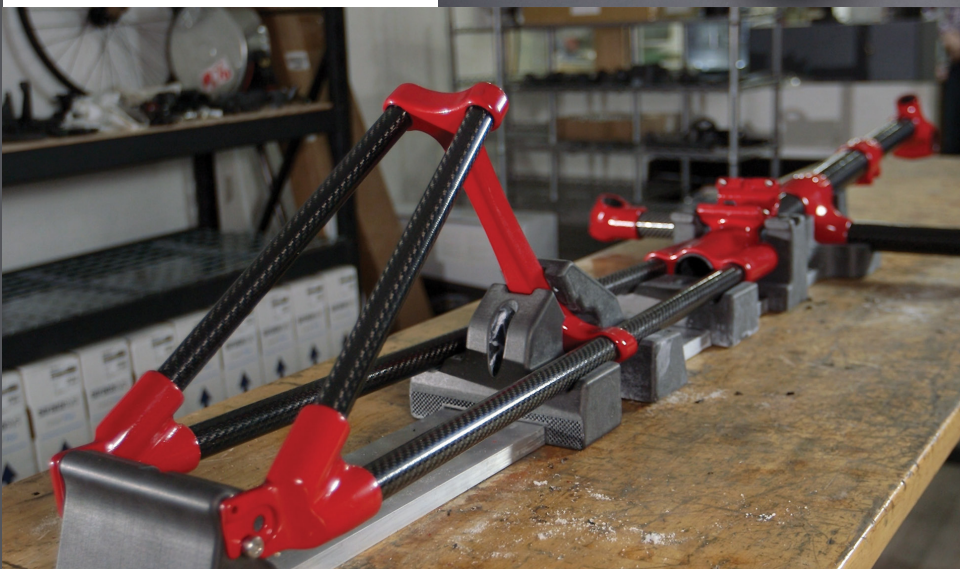




# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

Die richtige  
Technologie für  
Ihre Anwendung



# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

Dieses Whitepaper ist wahrscheinlich nicht der erste Schritt auf Ihrem Weg zum 3D-Druck. Sicherlich haben Sie bereits erkannt, dass die Vorteile der 3D-Drucktechnologie die Lösung für Ihre Design-, Prototyping- und/oder Produktionsanforderungen sein können. Basierend auf CAD-Dateien (Computer-Aided Design), die direkt mit einem 3D-Drucker kommunizieren, der das gewünschte Design schichtweise von unten nach oben aufbaut, bietet die 3D-Drucktechnologie unbegrenzte Möglichkeiten, insbesondere schnelle Design-Iterationen, Rapid Prototyping und den Druck von Produktionsteilen. Angesichts der Tatsache, dass der 3D-Druck ganze Branchen verändert, keine Lieferketten benötigt und medizinische Innovationen vorantreibt, überrascht es nicht, dass die additive Technologie als dritte industrielle Revolution bezeichnet wird.

Welche 3D-Technologie für Sie die richtige ist, hängt von den Materialien, der Ästhetik, den mechanischen Eigenschaften und der Gesamtleistung ab, die Ihr Produkt erfordert. Möglicherweise haben Sie sich

bereits für Kunststoff als Produktmaterial entschieden und damit 3D-Drucktechnologien wie Selective Laser Sintering (SLS), Direct Metal Laser Sintering (DMLS) und andere Verfahren ausgeschlossen. Dann bleibt noch die Wahl zwischen Fused Deposition Modeling® (FDM) und der PolyJet™-Technologie, zwei der fortschrittlichsten und vielseitigsten additiven Fertigungs- (AM) oder 3D-Drucktechnologien, die es gibt. In diesem Whitepaper werden die beiden Verfahren Fused Deposition Modeling (FDM) und PolyJet sowie ihrer Anwendungen in verschiedenen Branchen detailliert verglichen.

Es gibt einige Überschneidungen bei den Anwendungen von FDM- und PolyJet-3D-Druckern, aber im Großen und Ganzen unterscheiden sich diese beiden Technologieplattformen und bieten dem Anwender unterschiedliche Vorteile. Das Verständnis der beiden Technologien und die Kenntnis des jeweiligen Anwendungspotenzials für Ihre Produkthanforderungen sind der Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz eines dieser Verfahren in Ihrem Unternehmen. Die Palette der verfügbaren Drucker reicht von preisgünstigen Desktop-Modellen bis hin zu großformatigen Geräten für den Einsatz in Fabriken, die Anwendungsmöglichkeiten umfassen die Herstellung von präzisen, detaillierten Modellen bis hin zur Fertigung langlebiger Produktionsgüter. Umfassende Informationen über die Fähigkeiten und den Output eines Druckers und die Abstimmung von Druckverfahren und Materialien auf Ihre Bedürfnisse sind die Grundlage für den erfolgreichen Einsatz des 3D-Drucks in Ihrem Unternehmen.



Der 3D-Druck ist als Motor für Wachstum und Innovation inzwischen ein wesentlicher Faktor.”

Dr. Phil Reeves

**VP, Stratasys Expert Services**

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

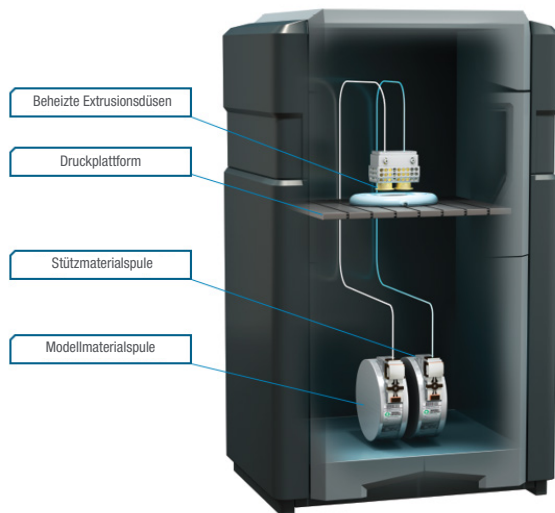


Abbildung 1: FDM-Druckvorgang (Fused Deposition Modeling)

## Die Technologien

### FDM (Fused Deposition Modeling)

3D-Drucker, die mit der FDM-Technologie (Schmelzschichtung) arbeiten, erwärmen und extrudieren thermoplastisches Filament, um Teile schichtweise von unten nach oben aufzubauen. Bei der Druckvorbereitung zerlegt eine Software das Modell aus der 3D-CAD-Datei in Schichten und berechnet für jede Schicht einen Pfad für die Extrusion von thermoplastischem Filament und eventuell erforderlichem Stützmaterial. Bei der Fertigung wird thermoplastisches Filament durch einen beheizten Kopf geführt und tritt unter hohem Druck als feiner, halbflüssiger Kunststoffstrang aus. Mit diesem Extrusionsverfahren wird im temperierten Bauraum ein durchgehender Kunststoffstrang Schicht für Schicht aufgeschmolzen. An den Stellen, die Stützen oder Abgrenzungen benötigen, erzeugt der 3D-Drucker Gerüste aus entfernbarem Material. Mittels dieser Schichtbauweise werden Bauteile aus thermoplastischem Kunststoff hergestellt. Bei der Nachbearbeitung wird das Stützmaterial entfernt, entweder durch manuelles Abbrechen oder durch Auflösen in einem Lösungsbad (Reinigungsmittel und Wasser). Anschließend ist das Teil einsatzbereit (Abbildung 1).

### PolyJet-Technologie

PolyJet ist eine leistungsstarke 3D-Drucktechnologie, mit der glatte, präzise Bauteile, Prototypen und Werkzeuge gefertigt werden können. Dank mikroskopischer Schichtauflösung und einer Genauigkeit von bis zu 0,1 mm sind dünne Wände und komplexe Geometrien realisierbar. Während der Druckvorbereitung berechnet eine Software anhand einer 3D-CAD-Datei automatisch die Platzierung der Photopolymere und des Trägermaterials. Bei der Fertigung durchläuft ein Transportschlitten, der mit vier oder mehr Druckköpfen und UV-Lampen bestückt ist, den Arbeitsbereich und trägt winzige Tröpfchen von Photopolymeren auf, die unter dem UV-Licht aushärten. Auf der Bauplattform entstehen so aus feinen Schichten ein oder mehrere präzise 3D-Modelle (sog. Teile). Wenn Überhänge oder komplexe Formen unterstützt werden müssen, verwendet der 3D-Drucker ein entfernbares Stützmaterial. Der Vorgang wird Schicht für Schicht wiederholt, bis ein vollständiges 3D-Modell aufgebaut ist. Das Stützmaterial kann leicht von Hand, mit Wasser oder in einem Lösungsbad entfernt werden. Die Modelle und Teile können direkt aus dem 3D-Drucker heraus bearbeitet und verwendet werden, ohne dass eine Nachhärtung erforderlich ist (Abbildung 2). Sicherlich ist der Einsatz von FDM- als auch von PolyJet-Druckern eine Option. Aber in den meisten Fällen ist eine der beiden Technologien für Ihre Produkthanforderungen besser geeignet als die andere. Ein Vergleich bzw. eine Gegenüberstellung bestehender Systeme, Arbeitsabläufe, Teilmerkmale und Materialoptionen ist ein guter Ausgangspunkt, um zu ermitteln, wie die Anforderungen Ihres Unternehmens am besten erfüllt werden können.

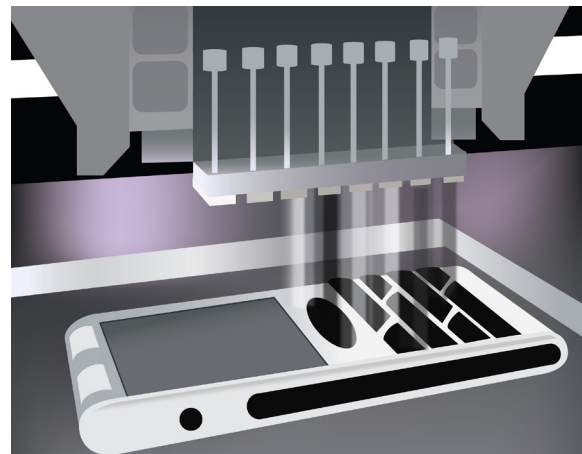


Abbildung 2: PolyJet-Druckvorgang



# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

## Anforderungen und Merkmale

### Druckgeschwindigkeit

Die Druckgeschwindigkeit ist für die Nutzer zwar von großem Interesse, doch gibt es keine eindeutige Antwort auf die Frage, welche Technologie schneller ist. Bevor Sie die Geschwindigkeit messen, müssen Sie Ihre Arbeitsabläufe, Ihre Teile und Ihre Anforderungen kennen. Die Einschätzung, dass eines der Verfahren, FDM oder PolyJet, eine kürzere Druckdauer ermöglicht, kann sehr irreführend sein. Einige der variablen Parameter für die Druckdauer beruhen auf der Art des zu druckenden Teils. Hohe Auflösung, glatte Oberflächen und solide Teile mit den besten mechanischen Eigenschaften benötigen mehr Zeit. Die Druckdauer hängt von vielen Variablen ab. Einige können Sie auswählen, andere sind festgelegt. Im Durchschnitt ist die Fertigungsdauer bei FDM und PolyJet sehr ähnlich (und sehr konkurrenzfähig).

Die Druckdauer ist nicht nur abhängig von der Detailgenauigkeit der Teile, sondern auch von deren Höhe, da die additive Technologie die Teile schichtweise von unten nach oben aufbaut. Die Vorbereitung des Druckers und der Datei kostet ebenso zusätzliche Zeit wie der Leerlauf nach dem Druck (Warten auf die Aushärtung des Bindemittels) und die Nachbearbeitung in Form von Reinigung, Nachhärtung, Entpudern, Entfernen der Stützstruktur, Infiltration. Im Allgemeinen werden 3D-Drucker in folgenden Zyklen betrieben: Vier-Stunden-Zyklus (halber Arbeitstag), Acht-Stunden-Zyklus (ganzer Arbeitstag) oder Nachtzyklus.

Das Materialvolumen, die Oberfläche, die Grundfläche und die Konfiguration des Teils können die Druckdauer um Stunden verlängern. Um die Geschwindigkeit zu messen, muss der gesamte Vorgang getaktet sein, beginnend mit dem Eingang der STL-Datei und endend mit der Fertigstellung des entsprechenden Teils. In diesem Ablauf kann eine langsamere Druckdauer zu einem schnelleren Endergebnis führen, als ein Druckvorgang mit einer schnelleren Druckdauer, der mehr Nachbearbeitung erfordert. Ein vierstündiger Druck plus die zusätzlich erforderlichen Schritte können also durchaus zu einer 12-stündigen Gesamtfertigungszeit führen. Umgekehrt kann eine achtstündige Druckdauer zusammen mit anderen erforderlichen Schritten eine Gesamtfertigungszeit von nur 10 Stunden ergeben.

### ■ Druckdauer (Std.) ■ Weitere erforderliche Schritte (Std.)

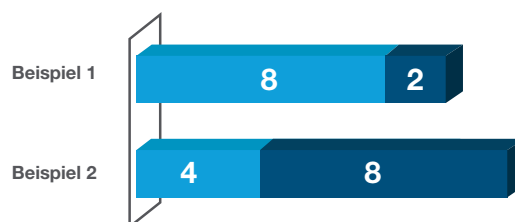


Abbildung 3: Druckdauerabschnitte für ein Teil – von der STL-Datei bis zur Fertigstellung

Ein Druckvorgang mit einer langsameren Druckdauer könnte also der insgesamt schnellere Vorgang sein (Abbildung 3).

Die Druckgeschwindigkeit allein sollte nicht über den Einsatz der FDM- oder der PolyJet-Technologie entscheiden – berücksichtigen Sie auch die Geometrie der Teile und das für die Nachbearbeitung benötigte Stützmaterial. Erst nach Einbeziehung all dieser Faktoren kann die 3D-Druckdauer verglichen werden.

### Verkürzte Fertigungsdauer

Piper Aircraft, ein Hersteller von ein- und zweistrahligen Flugzeugen, wollte die Fertigungszeit für seine Werkzeuge für das Hydroforming verkürzen. Bei diesem Verfahren wird Metallblech gegen das formgebende Werkzeug gepresst. Piper verwendet Hydroforming, um Hunderte von Aluminium-Strukturkomponenten dieser Flugzeuge herzustellen, beispielsweise den Innenrahmen, Knotenbleche, Halterungen und Außenhaut. In der Vergangenheit verwendete das Unternehmen Formwerkzeuge aus Aluminium in den Hydroforming-Maschinen, stellte jedoch fest, dass die Herstellung geometrisch komplexer Formwerkzeuge aufgrund des hohen Zeitaufwands für die Programmierung jedes einzelnen Teils teuer war.

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

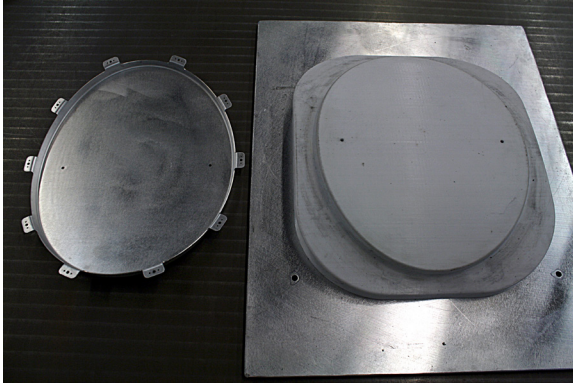


Abbildung 4: Hydrogeformte Teile bei Piper Aircraft. Das Werkzeug dafür wurde mit der FDM-Technologie gedruckt.

Wie so oft führten auch hier die erforderlichen Materialeigenschaften die Ingenieure zur FDM-Technologie. FDM-Drucker bieten für langlebige Teile eine unvergleichliche Vielseitigkeit. Diese Teile sind robust genug, um als fortgeschrittene Konzeptmodelle, Funktionsprototypen, Fertigungswerkzeuge und Produktionsteile verwendet zu werden. Im Fall von Piper war Polycarbonat (PC) das am besten geeignete Material, da es einem Hydroforming-Druck von 3.000 bis 6.000 psi standhält und sich für das Formen aller von Piper hergestellten Strukturteile eignet (Abbildung 4).

Nachdem die erforderlichen Materialeigenschaften die am besten geeignete Drucktechnologie bestimmt hatten, konnte sich der Flugzeughersteller anderen Überlegungen zuwenden, nämlich dem Wert des 3D-Drucks für seinen Betrieb im Allgemeinen. „Ich kann ein FDM-Teil in 10 Minuten programmieren, während das mit einem typischen CNC-Programm vier Stunden dauert“, so Jacob Allenbaugh, Fertigungsingenieur bei Piper. „Der FDM-Drucker ist viel schneller als eine CNC-Maschine und kann unbeaufsichtigt arbeiten.“

Das Unternehmen wählte die FDM-Technologie nicht nur wegen der kürzeren Fertigungszeit, sondern auch wegen des großen Bauraums und dem hohen

Maß an Genauigkeit. Nach der Formung werden die Fräs- und Bohrvorrichtungen als Führung bei den Fräs- und Bohrvorgängen zur Fertigstellung des Teils verwendet. Ein zusätzlicher Vorteil von FDM ist für Piper die Möglichkeit, das Design von Strukturteilen zukünftig verbessern zu können. Da Bauteile mit beliebigen Geometrien gefertigt werden können, geht Allenbaugh davon aus, dass es möglich sein könnte, ein effizienteres Flugzeug zu bauen, indem man zu komplexeren und organisch geformten Teilen übergeht, die mit FDM-Formwerkzeugen hergestellt werden.

Volvo Construction Equipment (VCE) beauftragte sein Ingenieurteam, die Entwicklungskosten zu senken und die Vorlaufzeit für große Motorenprojekte von 36 auf 24 Monate zu verkürzen. VCE entschied sich für den 3D-Druck, war sich aber nicht sicher, ob 3D-gedruckte Wasserpumpengehäuse den Funktionstests standhalten würden.

Die FDM-Technologie war nicht die Antwort, aber PolyJet konnte dank der breiten Palette verfügbarer Materialien (sogar transparenter) die Anforderungen erfüllen. Die Prototypen für Wasserpumpengehäuse mussten dem hohen Druck im Motorraum standhalten. Die Ingenieure druckten das Gehäuse aus FullCure@720, einem transparenten Material, montierten neun Gewindeeinsätze und versiegelten das Gehäuse mit Epoxidharz und Härter, um Leckagen zu verhindern. Dann befestigten sie das Gehäuse an einer Wasserpumpe, um den Wasserdurchfluss und den Druck zu messen (Abbildung 5).



Abbildung 5: Prototyp einer Wasserpumpe bei Volvo Construction Equipment, 3D-gedruckt mit der PolyJet-Technologie.

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

## Druckvorbereitung: Erforderliche Schritte

### FDM

In der Software GrabCAD oder Catalyst wird eine CAD-Datei im STL-Format geöffnet. Anschließend werden Material, Farbe und Schichtdicke ausgewählt. Dann werden Einstellungen für die Art des Drucks und der Stützstrukturen gemäß den Anforderungen Ihrer Anwendung gewählt. Schließlich wird eine Ausrichtung festgelegt, dann übernimmt die Software. Die Software unterteilt das Modell in Schichten und berechnet Werkzeugwege sowohl für das Teil als auch für seine entfernbaren Stützstrukturen. Diese Werkzeugwege speichert die Software in einer Druckdatei. Durch Klicken auf „Drucken“ wird die Druckdatei an den 3D-Drucker gesendet.

Beide Technologien bieten eine sehr einfache Front-End-Dateiverarbeitung, mit der druckfertige Dateien in weniger als fünf Minuten erstellt werden können. Ein Unterschied besteht darin, dass FDM-3D-Produktionsdrucker über ausgefeilte Bedienelemente verfügen, die es ermöglichen, den Druckvorgang an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung anzupassen. Sämtliche Parameter können vom Anwender konfiguriert werden. Sowohl FDM als auch PolyJet können innerhalb von 10 Minuten nach Übernahme einer Druckdatei mit der Arbeit beginnen.

### PolyJet

Der PolyJet-3D-Druck ist mit dem Tintenstrahldruck vergleichbar, aber statt Tintentropfen auf Papier sprühen PolyJet-3D-Drucker schichtweise härtbaren, flüssigen Photopolymer auf eine Bauplattform. Während der Druckvorbereitung berechnet die Software anhand einer 3D-CAD-Datei automatisch die Platzierung der Photopolymere und des Stützmaterials.

## Drucknachbearbeitung

Was das Entfernen der Stützstruktur und die Reinigung von Teilen betrifft, gibt es einige Gemeinsamkeiten zwischen FDM und PolyJet. FDM-Drucker besitzen einen Tank, um lösliche Stützstrukturen automatisch zu entfernen. Nicht lösliche Stützstrukturen werden mit einfachen Handwerkzeugen abgebrochen.

Bei PolyJet kann das gelartige Stützmaterial SUP705 in einem schnellen, manuellen Schritt mit einem Wasserstrahl entfernt werden. SUP706, ein anderes lösliches Stützmaterial für die PolyJet-Technologie, kann mit allen 3D-Druckern verwendet werden, die den Druck mit drei Materialien (Triple Jetting) unterstützen, und muss wie bei FDM in zwei einfachen Schritten eingeweicht und ausgewaschen werden. Wenn es schnell gehen muss, kann SUP706 auch halbmanuell oder manuell mit einem Wasserstrahl entfernt werden.

SUP706 ermöglicht größere geometrische Freiheiten, sodass auch komplexe, filigrane Merkmale und kleine Hohlräume mit PolyJet gedruckt werden können.

PolyJet-Teile müssen nach dem Druck nicht ausgehärtet werden und erfordern nur wenig Aufwand zum Entfernen der Stützstrukturen.

Das Jacobs Institute (JI) in Buffalo, New York, ein führendes Zentrum zur Entwicklung von Geräten für die Gefäßmedizin, verwendet die PolyJet-3D-Drucktechnologie für patientenspezifische Modelle, die auf CT- und MRT-Scans beruhen. Diese Modelle stellen die einzigartige Gefäßanatomie eines Patienten dar und ermöglichen es Chirurgen nicht nur, einen Eingriff vor der Operation zu planen und zu üben, sondern dienen vor komplexen Eingriffen auch als Anschauungsobjekte für Patienten (Abbildung 6).



Abbildung 6: Das Jacobs Institute druckt 3D-Gefäßmodelle mit dem Material Agilus30 und der PolyJet-Technologie.

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

Die Nachbearbeitung dieser dünnwandigen Gefäße kann allerdings schwierig und zeitaufwändig sein, denn das Stützmaterial muss aus den engen Arterien dieser empfindlichen Modelle entfernt werden. JI entschied sich für die PolyJet-Technologie mit ihrer Option für durchsichtige, gummiartige Materialien, die 30–50 Gerätetests standhalten, bevor Beschädigungen auftreten.

Ursprünglich verwendete JI das durchsichtige, gummiartige Verbundmaterial TangoPlus, suchte dann aber nach einem Material, das bei der Nachbearbeitung reißfester ist. JI verwendet nun zusätzlich auch Agilus30, ein durchsichtiges Verbundmaterial von Stratasys.

JI leistet Pionierarbeit bei der Entwicklung von neurovaskulären Modellen, die mit PolyJet gedruckt werden und dazu dienen, die Entwicklung neuer Geräte zu beschleunigen und die Möglichkeiten der Ärzte zur Behandlung von zerebrovaskulären Erkrankungen wie Schlaganfällen und Aneurysmen zu verbessern. Diese 3D-gedruckten Modelle zeigen dank der PolyJet-Technologie anatomisch und physiologisch exakt das Gefäßsystem im Gehirn eines Patienten.

## Büroumgebung

Sowohl FDM als auch PolyJet setzen nur sehr wenige spezielle Anforderungen voraus. Es werden weder abgeschottete Labore noch OSHA-Atemschutzanforderungen benötigt. Für alle Systeme sind nur minimale Installations- und Elektroarbeiten erforderlich, und bei beiden Verfahren wird kein Pulver in die Luft abgegeben. Benötigt werden nur ein Stromanschluss und für die Nachbearbeitung ein Wasserzulauf mit Abflussmöglichkeit.

Zudem sind sowohl FDM- als auch PolyJet-Systeme in bürofreundlichen Größen erhältlich. Die einzige Ausnahme bilden die Fortus® 900mc™ und die Objet®1000™, die wegen ihrer großen Stellflächen einen großen Arbeitsbereich benötigen.

## Benutzerfreundliche Bedienung

Beide Verfahren, FDM und PolyJet, sind relativ benutzerfreundlich. Das beginnt bereits mit der einfachen Dateieinrichtung. Weitere Vorteile sind:

- **Materialwechsel:** Entfernen Sie einfach eine Materialkartusche und setzen Sie eine andere in den 3D-Drucker ein.
- **Druckauftrag einrichten:** Legen Sie eine Druckfolie ein (nur FDM), bringen Sie das System auf Betriebstemperatur und drücken Sie auf Start. Das ist alles.
- **Nach dem Druck:** Bereits wenige Sekunden nach Beendigung eines Auftrags können Sie die Tür/Haube öffnen und die Teile entnehmen.

## Betriebskosten

Beide Verfahren haben eigene budgetäre Vorteile und Einschränkungen. Insgesamt sind die Betriebskosten bei PolyJet jedoch etwas höher. Verbrauchsmaterial (Filament und Verschleißteile) ist der größte Kostenfaktor bei der additiven Fertigung. PolyJet-Verbrauchsmaterial ist teurer als das für FDM.

**PolyJet:** PolyJet-Druckköpfe müssen nach 2.000 Druckstunden (oder mehr) ausgetauscht werden.

Die gesamten Verbrauchsmaterialkosten pro Kubikzoll eines Teils sind mit FDM geringer. In Bezug auf die Kartuschen sind die Verbrauchskosten pro Gewichtseinheit beider Technologien vergleichbar. FDM zeichnet sich jedoch durch geringere Stückkosten aus, da nur sehr wenig Stützmaterial benötigt wird. PolyJet-Systeme erfordern mehr Stützmaterial, um die winzigen Tröpfchen zu halten.



# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

FDM: Bauplattformen und Druckfolien müssen ebenso wie Extrusionsdüsen routinemäßig ausgetauscht werden. Bei FDM sind die Materialkosten pro Kubikzoll eines Teils geringer, und auch die Gesamtkosten pro Teil sind niedriger, da nur wenig Stützmaterial benötigt wird.

Utah Trikes, ein in Payson, Utah, ansässiger Hersteller von Trikes, Quads und Spezialrollstühlen, erkannte schnell, dass die Anpassung an Kundenwünsche mit Zeit und Kosten verbunden war. Der Trike-Hersteller besaß „einige CNC-Maschinen, die wir so gut wie ununterbrochen laufen ließen“, so Ashley Guy, Präsident und CEO. „Unser Problem war, dass für Prototypen immer neue Vorrichtungen gefräst werden mussten, wodurch eine Menge Arbeitsstunden anfielen.“

Utah Trikes benötigte nicht nur ein schnelles und kostengünstiges Verfahren, sondern zudem Materialien, die stark genug sind, um damit nach dem Prototyp auch Produktionsteile zu fertigen. Dank des 3D-Drucks und der FDM-Technologie, so Guy, „muss ich bei meinen Entwürfen nicht mehr die Einschränkungen bei der Prototypenherstellung berücksichtigen“. Durch die Möglichkeit, kundenorientiert vor Ort zu drucken, konnte die Produktionszeit von zwei Monaten auf zwei Wochen verkürzt und die Kosten des Unternehmens um das 8- bis 10-fache gesenkt werden.

Der Trike-Hersteller begann mit der Verwendung von FDM Nylon 12™ auf seinem 3D-Drucker, einer Fortus von Stratasys, „und damit haben wir etwa 75 % des Weges geschafft“, so Guy. Als der Hersteller dazu überging, Teile in Produktionsqualität herzustellen, die eine hervorragende Festigkeit benötigen, entschied er sich für FDM Nylon 12CF™, um „Teile zu erhalten, die schneller und mit besserer Wiederholgenauigkeit gedruckt werden können und zudem ein besseres Steifigkeits-Gewichts-Verhältnis aufweisen. Wir kennen keine andere 3D-Drucktechnologie, die das besser kann“, so Guy. Auch im Fall von Utah Trikes bestimmten die Materialeigenschaften die Drucktechnologie (Abbildung 7).



Abbildung 7: Utah Trikes verwendet FDM-Nylonmaterial 12CF für sein fortschrittliches Prototyping.

## Bauteileigenschaften

### Oberflächenbeschaffenheit

Wenn Sie eine nahezu lackierfertige Oberfläche oder Flexibilität benötigen, dann ist PolyJet Ihr Verfahren. Mit ein wenig Nassschleifen und Polieren lässt sich eine glatte, glänzende Oberfläche erzielen, die für alle Produkte geeignet ist, die keine Oberflächenfehler aufweisen dürfen. Die PolyJet-Technologie bietet das größte Spektrum an Materialeigenschaften und ermöglicht Teile oder Prototypen mit optimaler Oberflächenbeschaffenheit sowie feinsten Details.

FDM arbeitet dagegen mit einem Extrusionsverfahren, das sichtbare Schichtlinien an den Seitenwänden und Spuren der „Druckwege“ auf der Ober- und Unterseite hinterlässt. Diese können zwar beseitigt werden, doch erfordert dies eine zusätzliche Nachbearbeitung, entweder manuell oder durch eine automatische Schleifstation. Allerdings verwendet die FDM-Technologie Thermoplaste in Produktionsqualität und ermöglicht die Herstellung starker, langlebiger und maßhaltiger Teile mit der besten Genauigkeit und Wiederholbarkeit aller 3D-Drucktechnologien.



# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

Mikkelsen Electronics in Dänemark entwickelt kundenspezifische Lösungen für die Kabel- und Formbauindustrie. Das Unternehmen hat in 3D-Druck investiert, um Fertigungszeiten und -kosten zu reduzieren und erschwingliche Prototypen anbieten zu können. „Bei uns stand schon lange die Wertschöpfungskette der Kunden hinsichtlich des Niederdruckverguss im Mittelpunkt“, sagte Kim Christiansen, der Geschäftsführer von Mikkelsen.

FDM ist die Technologie der Wahl für das Unternehmen, da es damit präzise 3D-gedruckte Teile fertigen kann, die hohen Temperaturen standhalten. Mikkelsen ist auf FDM-Thermoplaste angewiesen, die hoher Hitze über lange Zeit standhalten. „Die fertigen Teile sind von Anfang an voll funktionsfähig, was unsere Glaubwürdigkeit bei den Kunden deutlich erhöht“, so Christiansen. Nach dem Kauf eines Fortus-3D-Druckers von Stratasys druckt Mikkelsen je nach Verwendungszweck sowohl mit ABS-Thermoplast als auch mit ULTEM™-Harz (Abbildung 8).

„Der Dialog mit den Kunden hat eine ganz andere, sehr positive Wendung genommen“, so Christiansen. „Wir bieten jetzt neue Funktionen an, beobachten die Entwicklungen und konzentrieren uns auf die Weiterentwicklung unserer Produkte. Zudem werden wir jetzt als ernsthafterer Akteur auf dem Markt angesehen“.

Brooks Running in Seattle, Washington, ist für Kenny Krotzer, stellvertretender Schuhentwickler des Unternehmens, der glücklichste Ort der Welt. „Und das liegt nicht zuletzt an unserem 3D-Drucker Connex3™“, so Krotzer. Das Unternehmen hat sich zum Ziel gesetzt, ein „Produkt mit der besten Leistungsfähigkeit auf dem Markt herzustellen, und jetzt haben wir ein neues Werkzeug, das uns dabei hilft, dieses Ziel zu erreichen“.

Das große Druckbett des PolyJet-3D-Druckers ermöglicht es Brooks, vier bis fünf Prototypen für Außen- oder Zwischensohlen gleichzeitig zu drucken, was die Markteinführung neuer Designs erheblich beschleunigt. „Die Freiheit, die wir damit haben, ist so

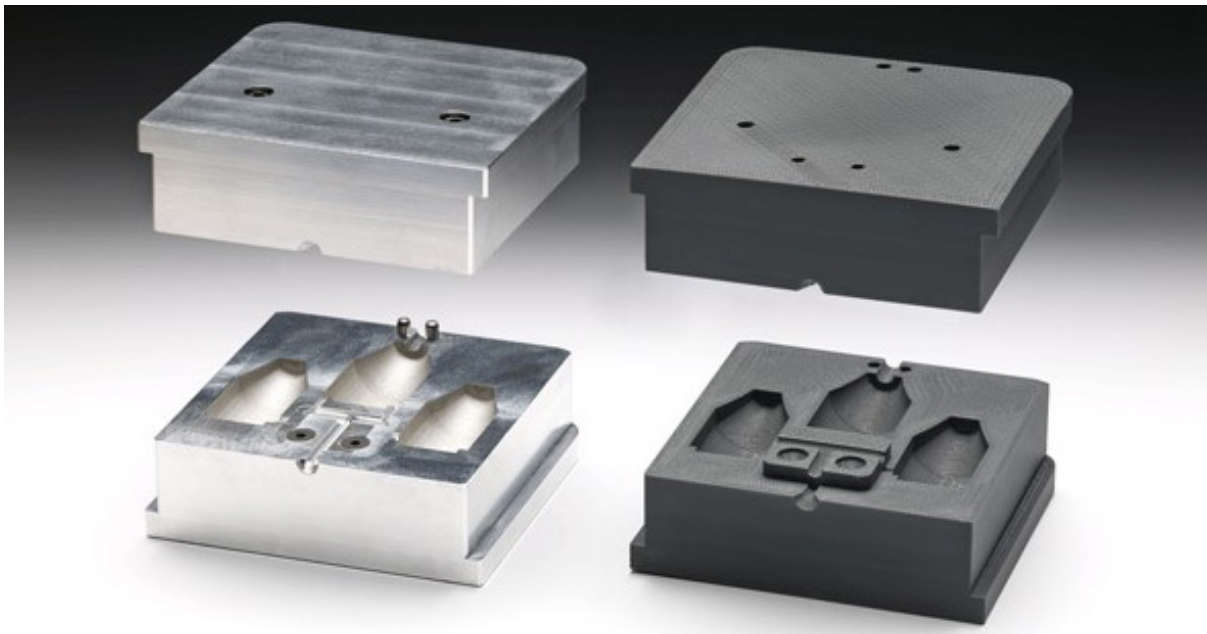


Abbildung 8: Bei Mikkelsen Electronics ist FDM das geeignete 3D-Druckverfahren für Niederdruckverguss-Formen.

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

groß, dass wir ein neues Design über Nacht drucken lassen können und es am nächsten Morgen fertig ist.“

Die häufigen Design-Iterationen sowie Designer und Schuhentwickler in China und den USA „waren ein ziemlicher Alptraum“, sagte Krotzer. „Unser 3D-Drucker hat unseren gesamten Prozess der Designvalidierung revolutioniert“. Das Unternehmen spart nicht nur Zeit bei der Design-Iteration, sondern auch 500 bis 800 USD pro Schuhdesign (Abbildung 9).

Die Designvalidierung ist laut Krotzer ein wichtiger Bestandteil des Geschäfts. Passform und Funktionalität des Produkts stehen zwar an erster Stelle, aber dann kommt schon das Design. „Schuhdesign ist ein ständiges Geben und Nehmen. Entscheidend ist dabei die Möglichkeit, ein Konzept schnell ändern zu können“. Außerdem könnte Brooks mit der PolyJet-Technologie Dutzende von Farben drucken. „Obwohl wir im Moment nur Schwarz, Weiß und Grau verwenden, kann sich das eines Tages ändern“, sagte Krotzer.



Abbildung 9: Brooks Running nutzt die PolyJet-Technologie für den 3D-Druck von Prototypen für Zwischensohlen und Laufsohlen, um den Designprozess zu beschleunigen.

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

## Genauigkeit

Hinsichtlich der Formgenauigkeit von Teilen zeigen die veröffentlichten Werte, dass vergleichbare FDM- und PolyJet-Systeme ähnliche Ergebnisse erzielen. FDM-Materialien sind jedoch langlebiger und belastbarer, ein entscheidender Faktor bei Endprodukten.

## Größe

Hinweis: Zur Vereinfachung wurden die folgenden Angaben gerundet. Die genauen technischen Daten finden Sie in den Produktdatenblättern.

PolyJet- und FDM-Systeme bieten Bauvolumen zwischen 127×127×127 mm und 1000×800×500 mm sowie vergleichbare Möglichkeiten für mittelgroße und große Modelle. Der einzige Unterschied findet sich bei kleineren 3D-Druckern. Bei FDM-Systemen gibt es eine Einstiegsvariante mit 127×127×127 mm, die klein genug ist, um auf einem Schreibtisch Platz zu finden.

Der kleinste PolyJet-3D-Drucker besitzt einen Bauraum von 240×200×150 mm und sollte auf einem Untergestell in der Nähe des Arbeitsplatzes aufgestellt werden.

Hinsichtlich der Maximalgröße der Bauteile ist die Ausrichtung beim 3D-Druck zu berücksichtigen. Beispielsweise haben die beiden größten Systeme (FDM 900mc und Objet1000) Bauräume ähnlicher Größe. Die maximale Bauteilhöhe der Fortus 900mc liegt jedoch bei 914 mm. In der Objet1000 liegt die Maximalhöhe bei 500 mm. Das Gegenteil gilt für die Breite: Die Fortus 900mc bietet 610 mm und die Objet1000 787 mm.

## Materialien

Der größte Unterschied zwischen dem FDM- und dem PolyJet-Verfahren betrifft die Materialien. Insgesamt gibt es Tausende von Optionen, von echten Thermoplasten bis zu ähnlichen Harzen, von starr bis flexibel und von undurchsichtig bis transparent.

PolyJet ermöglicht Produktrealismus mit einer breiten Palette von Materialien und Farben. Mit über 1.200 verfügbaren Farboptionen und einer großen Auswahl an Verbundmaterialien (zwei oder drei Materialien, die am Druckkopf gemischt werden) stehen buchstäblich Tausende von Materialoptionen zur Verfügung, mit unterschiedlicher Tönung, Transparenz, Stärke, Festigkeit und Flexibilität. So können zum Beispiel flexible, gummiartige Teile mit Shore-A-Härten von 27 bis 95 gedruckt werden. Ein weiterer Faktor, der realitätsnahe Produkte ermöglicht, ist der Multimaterialdruck. Da in einem Bauteil bis zu 82 verschiedene Materialien verarbeitet werden können, lassen sich Anwendungen wie flexibles Überspritzen fester Strukturen in einem einzigen Druckvorgang durchführen. Wenn Sie eine Vielzahl von Materialeigenschaften benötigen, ist PolyJet sicherlich die richtige Plattform für Sie.

Wenn Ihre Anwendungen hingegen echte Thermoplaste erfordern, die sowohl funktional als auch langlebig sind, ist FDM möglicherweise die richtige Plattform. Dreizehn Materialoptionen reichen von häufig verwendeten Kunststoffen wie ABS und ASA bis hin zu hochentwickelten Harzen wie ULTEM™ 9085. Verfügbare Materialeigenschaften: antistatisch, FST-Prädikat, Beständigkeit gegenüber Chemikalien und Hitze. Mit FDM lassen sich auch lösliche Muster für anspruchsvolle Produktionsaufträge erstellen.



# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

Sowohl FDM als auch PolyJet bieten biokompatible Materialien mit der Einstufung USP Plastic Class VI nach ISO 10993. Diese können für Hörgeräte, in der Zahnmedizin, für chirurgische Schablonen und Haltevorrichtungen sowie für die Lebensmittel- und Arzneimittelverpackung verwendet werden.

Die additive Fertigung, sowohl mit FDM als auch mit PolyJet, eignet sich für Konzept-, Design- und Fertigungskomponenten in der Produktentwicklung aller Branchen – von medizinischen Geräten bis hin zu Industriegütern. Es sind diese anwendungsspezifischen Anforderungen, die letztlich die Frage beantworten, welche Technologie für einen bestimmten Bedarf am besten geeignet ist.

Die State University of New York (SUNY), New Paltz, und ihr Stratasys-MakerBot Additive Research & Teaching (SMART) Lab verfügen über mehr als 40 3D-Drucker, darunter sowohl FDM- als auch PolyJet-Drucker. Das SMART Lab ist Teil des Hudson Valley Additive Manufacturing Center (HVAMC) und arbeitet mit SUNY zusammen, um Studenten und der Community Ausbildungsmöglichkeiten im Bereich 3D-Druck anzubieten.

Der vielleicht interessanteste Aspekt des SMART Lab ist, dass die Studenten nicht nur wertvolle Erfahrungen im Umgang mit dem 3D-Druck sammeln können, sondern auch die Möglichkeit haben, mit lokalen Unternehmen zusammenzuarbeiten, um 3D-gedruckte Problemlösungen zu entwickeln. „Für Studenten ist es großartig, ein Verständnis dafür zu bekommen, was in der Arbeitswelt benötigt wird, und dann die Fähigkeiten zu erwerben, die sie benötigen, um erfolgreich zu sein,“ sagte Kat Wilson, stellvertretende Direktorin des HVAMC. Die Universität hat sogar das neue Nebenfach Digital Design and Fabrication entwickelt, damit die Studenten im SMART Lab lernen können, wie sie Computersoftware benutzen und dieses Wissen für den 3D-Druck nutzen können.

Obwohl es sich nicht unbedingt um eine typische Partnerschaft zwischen Studenten und einem Unternehmen handelt, hat der Besitzer von Lagusta's Luscious, einem örtlichen Schokoladengeschäft, mit dem Labor zusammengearbeitet, um eine Form für einen menschlichen Schädel zu entwerfen. Die Studenten scannten einen Schädel, den sie vom anthropologischen Institut erhalten hatten, und erstellten dann eine digitale Datei für den 3D-Druck einer Form, mit der realistische Schokoladenschädel für eine Party zu Ehren einer beliebten Fernsehserie hergestellt wurden.

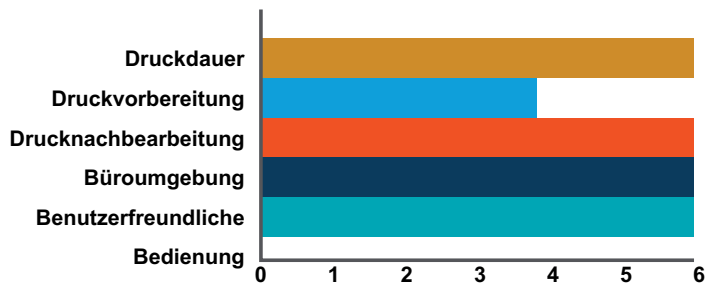
Die Studenten an der SUNY lernen, ihr Wissen über den 3D-Druck zu nutzen und mit lokalen Unternehmen zusammenzuarbeiten. „Wenn Unternehmen eine Anforderung haben, können wir einen Studenten benennen, der sie erfüllen kann“, sagte Wilson (Abbildung 10). In diesem Fall hat es der 3D-Druck mit der PolyJet-Technologie unter Verwendung des Materials VeroClear ermöglicht, dass Studenten und ein lokaler Geschäftsinhaber eine 3D-gedruckte Lösung erhielten, die sowohl effizient als auch kostengünstig war.



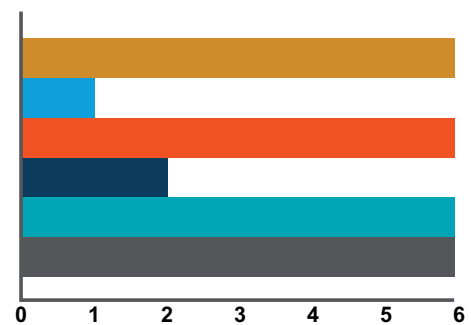
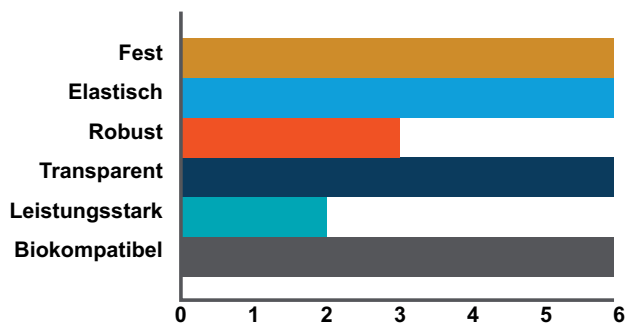
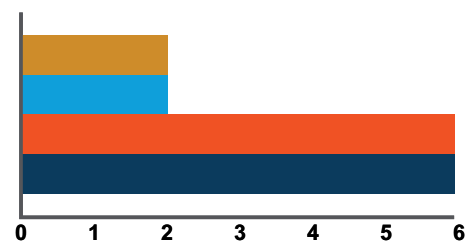
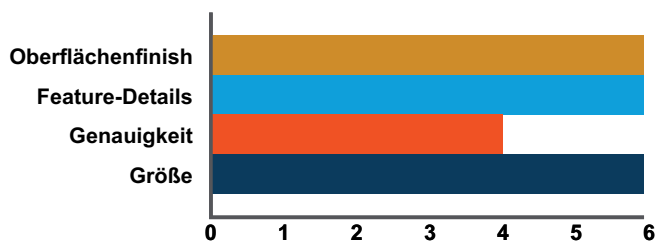
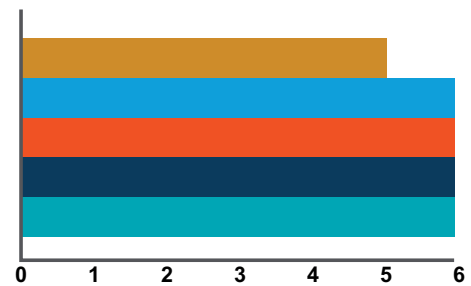
Abbildung 10: 3D-gedruckte Schädel, ein Produkt der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und dem SMART Lab für 3D-Druck der SUNY New Paltz.

# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

## 3D-DRUCK MIT POLYJET



## FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)



# 3D-Druck mit FDM und PolyJet

## Zusammenfassung

### Vorteile des PolyJet-3D-Drucks

Die PolyJet-Technologie bietet außergewöhnliche Detailliertheit, Oberflächenglätte und Präzision. Bei diesem Verfahren entstehen glatte, detaillierte Prototypen, die das Aussehen des Endprodukts vermitteln. Dies ermöglicht die Herstellung präziser Formen, Vorrichtungen und anderer Fertigungswerkzeuge. Zudem sind komplexe Formen, komplexe Details und feine Merkmale realisierbar. PolyJet ermöglicht zudem die größte Vielfalt an Farben und Materialien in einem einzigen Modell und ist damit unschlagbar effizient.

### Vorteile des FDM-3D-Drucks

Die FDM-Technologie ist sauber, einfach zu handhaben und bürofreundlich, da sie Thermoplaste in Produktionsqualität unterstützt, die mechanisch und ökologisch stabil sind. Komplexe Geometrien und Hohlräume, die sonst problematisch wären, sind für die FDM-Technologie kein Problem. Außerdem werden bei der FDM-Technologie dieselben bewährten Thermoplaste verwendet, die auch in herkömmlichen Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen. Für Anwendungen, die enge Toleranzen, Zähigkeit und Umweltstabilität oder Eigenschaften wie elektrostatische Ableitfähigkeit, Transluzenz, Biokompatibilität, Entflammbarkeit nach VO oder FST-Einstufungen erfordern, sind FDM-Thermoplaste die richtige Wahl.

## HAUPTNIEDERLASSUNGEN

7665 Commerce Way,  
Eden Prairie, MN 55344  
+1 800 801 6491 (US Toll Free)  
+1 952 937 3000 (international)  
+1 952 937-0070 (Fax)

[stratasys.com](http://stratasys.com)

Zertifiziert nach ISO 9001:2015

1 Holtzman St., Science Park,  
PO Box 2496  
Rehovot 76124, Israel  
+972 74 745 4000  
+972 74 745 5000 (Fax)

