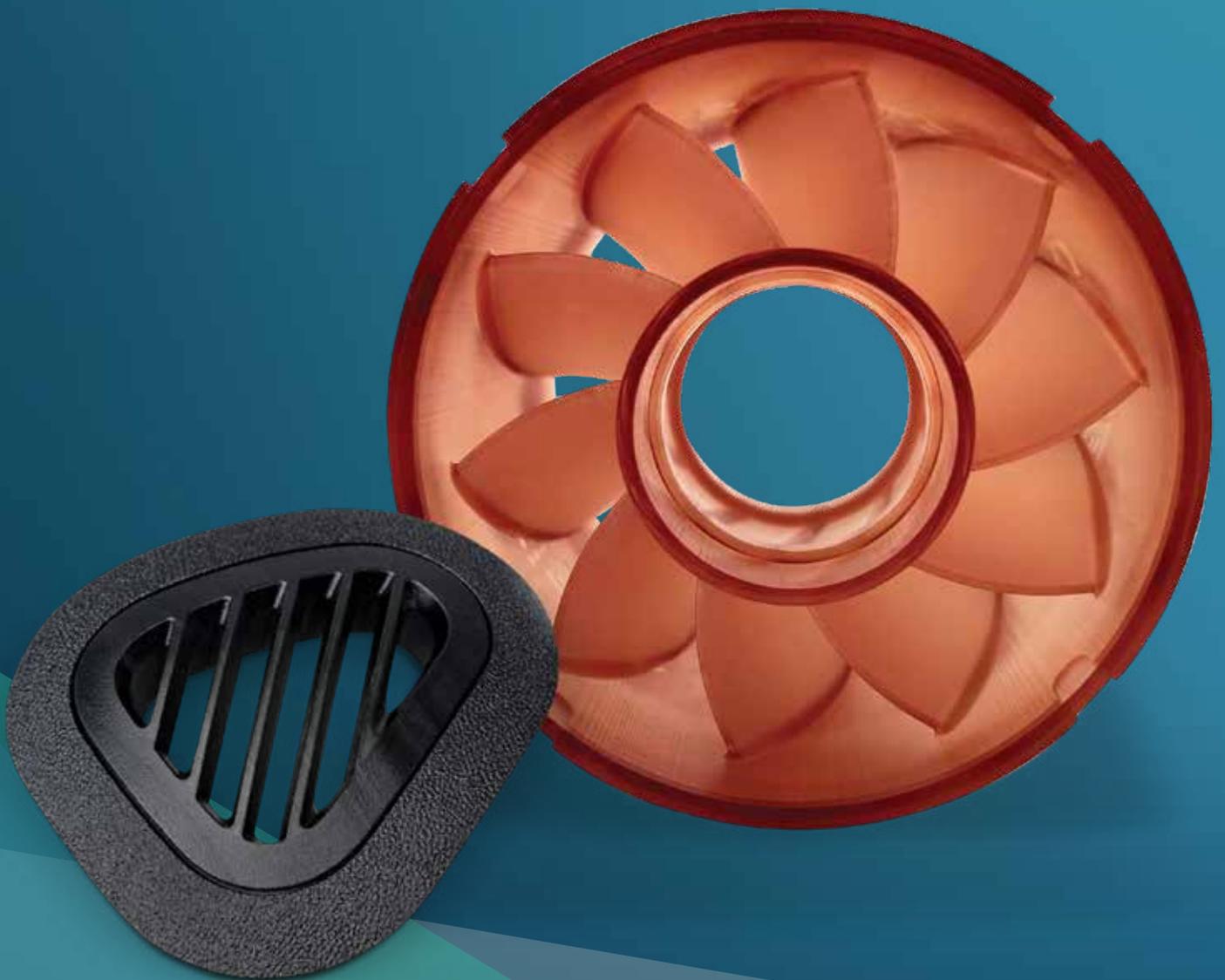


Whitepaper

# Eine digitale Alternative zum Spritzguss



# Schnellere Fertigung dank werkzeugloser, digitaler Direktproduktion von Kunststoffteilen

Bei der Figure 4®-Technologie von 3D Systems handelt es sich um ein werkzeugloses, hoch skalierbares, additives Fertigungsverfahren, das die Produktion von Kunststoffteilen beschleunigt und vereinfacht.

Diese digitale Technologie macht es möglich, dass Designs direkt vom CAD ohne Werkzeugerstellung in die Fertigung gehen, erleichtert spontane Durchläufe von Teildesigns, beschleunigt Übergänge in der Fertigung zu neuen Designs ohne Umrüstung und unterstützt die schnelle Fertigung von Teilen, die zu komplex für den herkömmlichen Spritzguss sind.

## Ein radikaler Umbruch nach fast 150 Jahren

Seit seiner Erfindung vor fast 150 Jahren ist der Spritzguss einer der Dreh- und Angelpunkte der Fertigung.

Der Prozess wurde über die Jahre deutlich verbessert. Grundlage dafür waren Erfindungen wie lösbare Formen von Celluloseacetat, die Schneckenkolben-Spritzgießmaschine, der Spritzguss unter Zugabe von Gas und die umfangreiche Materialpalette.

Bei der Spritzgussfertigung begnügt man sich nicht mehr mit einfachen Objekten wie Knöpfen oder Kämmen. Mittlerweile werden komplexe Produkte für nahezu jede Branche gefertigt, darunter beispielsweise die Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Gesundheitswesen, Verbrauchsgüter, Baugewerbe, Verpackung und viele mehr.

Nach wie vor erfordert der Spritzguss allerdings die Bestückung mit Werkzeugen. Trotz der Vereinfachung und Beschleunigung durch CNC und 3D-Druck werden die Bearbeitungszeiträume für die immer komplexer werdenden Spritzgussformen noch immer in Wochen oder sogar Monaten gemessen.

- Ein radikaler Umbruch nach fast 150 Jahren Werkzeugbereitstellung
- Der hoch skalierbare, modulare Ansatz für die Hochgeschwindigkeitsfertigung von Kunststoffteilen
- Neue Werkstoffe ermöglichen kürzere Bearbeitungszeit in der Wanne
- Technologisches Zusammenspiel ermöglicht digitale Produktion

In diesem Dokument werden die Möglichkeiten der werkzeuglosen, digitalen Direktfertigung mit der Figure 4®-Technologie aufgezeigt sowie Vorteile für Hersteller, wirtschaftliche Argumente für die Technologie und die Sichtweise eines Branchenexperten dargelegt. Postulierte Kosten- und Zeitersparnisse werden anhand von Benchmarks dokumentiert, um die Möglichkeiten der digitalen Fertigung im Vergleich zum herkömmlichen Spritzguss zu demonstrieren.

## Ein hoch modularer Ansatz

3D Systems hat einen neuen Ansatz für die Präzisionsfertigung von Teilen eingeführt. Möglich macht diesen die Figure 4®-Technologie, eine 30 Jahre alte Stereolithografie-Konfiguration (SLA-Konfiguration), die von 3D Systems-Mitgründer Chuck Hull patentiert wurde.

Die Figure 4®-Technologie wird in drei Konfigurationen angeboten, die sich in puncto Platzbedarf, Kapazität und Erweiterungsmöglichkeiten unterscheiden. Diese drei Lösungen sind:

**Figure 4® Standalone:** Bietet eine Druckeinheit für ultraschnelle, kostengünstige Prototypenerstellung und die Fertigung von Kleinserien am gleichen Tag.

**Figure 4® Modular:** Eine skalierbare, halb automatische 3D-Fertigungslösung, die es den Nutzern ermöglicht, bei steigendem Bedarf weitere Druckermodule hinzuzufügen.

**Figure 4® Production:** Bietet eine vollständig integrierte Industrielösung in Form von Inline-Produktionszellen.

Alle drei Konfigurationen können eine fertige Geometrie mit beeindruckender Geschwindigkeit ausgeben. Der Durchsatz kann mithilfe der nachgelagerten Prozesse noch weiter optimiert werden.

Spezifische Zykluszeiten und Kosten variieren je nach Teil oder gedruckter Geometrie. Die in diesem Dokument erwähnte Lüftung für Automobile weist beispielsweise eine Zykluszeit von 95 Sekunden auf.

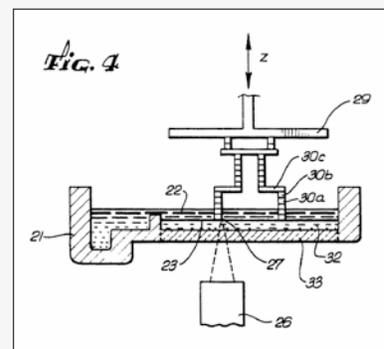


Figure 4® Modular ist eine skalierbare, halb automatische 3D-Produktionslösung, die mit dem Wachstum Ihrer Geschäfte Schritt hält und Kapazitäten ermöglicht, die Ihren derzeitigen und Ihren zukünftigen Anforderungen gerecht werden – für eine beispiellos flexible Fertigung

## Einführung neuer Werkstoffe

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Figure 4®-Technologie ermöglicht die Nutzung reaktiver Werkstoffe mit kurzer Kontaktzeit in der Wanne. Das Ergebnis sind robuste, funktionale Teile mit einer Reihe mechanischer Eigenschaften, wie sie auch in thermoplastischen Anwendungen verwendet werden.

Anders als bei sonstigen 3D-Druckverfahren mit Photopolymeren bietet Figure 4® die Möglichkeit, Teile aus Hybridmaterialien (multimodale Polymerisation) zu fertigen, die robust, langlebig und biokompatibel sind und eine hohe Temperaturbeständigkeit und sogar elastomere Eigenschaften aufweisen. Dies ermöglicht neue Endanwendungen im Bereich langlebiger Gebrauchsgüter, Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Gesundheitswesen usw.

Das Werkstoffportfolio der Figure 4®-Technologie von 3D Systems bietet viele Eigenschaften, die für eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten in den Bereichen Prototyping, Produktion und Spezialanwendungen entwickelt wurden, und die Auswahl der verfügbaren Werkstoffe wächst rasant.

Zu den wichtigsten Werkstoffen für die digitale Direktproduktion gehören **Figure 4™ PRO-BLK 10**, **Figure 4™ HI TEMP 300-AMB**, **Figure 4™ MED-WHT 10** und **Figure 4™ MED-AMB 10**.

Weitere Werkstoffe wie **Figure 4™ EGGSHELL-AMB 10** und **Figure 4™ JCAST-GRN 10** sind hervorragende Optionen zur Unterstützung von Produktionsabläufen. Sie bieten einen kurzen Weg zu präzisen Formen für den Silikonguss oder verlorenen Feingussmodellen für den Metallguss.

*Das Werkstoffportfolio für die Figure 4®-Technologie von 3D Systems wurde für eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten in den Bereichen Prototyping, Produktion und Spezialanwendungen entwickelt und bietet die entsprechenden Eigenschaften.*



Die folgenden Werkstoffe können für die digitale Direktfertigung von Ersatzteilen oder zur Überbrückung herkömmlicher Fertigungsverfahren eingesetzt werden:



**Figure 4™ PRO-BLK 10:** Ein produktionstauglicher Werkstoff für die additive Fertigung mit wegweisenden mechanischen Eigenschaften ähnlich Thermoplasten und Umweltbeständigkeit für die Direktfertigung von Kunststoffteilen.

Mit einer hohen Druckgeschwindigkeit von bis zu 60 mm/Std. und einer vereinfachten Nachbearbeitung, die einen einzigen Aushärtungszyklus und eine einzige Lösemittelreinigung beinhaltet, bietet dieses Material einen außergewöhnlich hohen Durchsatz.

Hierbei handelt es sich um ein Harz für die Fertigung hochpräziser Teile mit außergewöhnlich glatter Oberfläche und hervorragender Seitenwandqualität. Der Werkstoff weist ausgezeichnete mechanische Eigenschaften auf.

- Umweltbeständigkeit bedeutet, dass die Teile im Laufe der Zeit in Bezug auf mechanische Eigenschaften, Farbe, Opazität und Abmessungen konstant bleiben.
- Druckgeschwindigkeiten von bis zu 60 Millimeter pro Stunde bei 50 µm Schichtdicke
- Keine sekundäre thermische Nachhärtung, was dies zu einem einfachen und effektiven Ansatz für die werkzeuglose Produktion macht.



**Figure 4™ HI TEMP 300-AMB:** Ein Ultrahochtemperatur-Kunststoff für den Einsatz bei Anwendungen, die eine hohe Hitzebeständigkeit erfordern. Die Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) liegt bei 300 °C – sowohl bei niedrigem als auch bei hohem Druck (HDT bei 0,455 und 1,82 MPa). Dieses Material eignet sich gut für die Prüfung von Hochtemperaturkomponenten für Anwendungen wie Hochspannung, Haushaltsgeräte, Motorgehäuse, Haartrockner und dergleichen.

- HDT bei über 300 °C
- Keine sekundäre thermische Nachhärtung



**Figure 4™ MED-WHT 10 und Figure 4™ MED-AMB 10:** Ein starres weißes bzw. ein lichtdurchlässiges bernsteinfarbenes biokompatibles Material. Beide Werkstoffe werden für den Einsatz in allgemeinmedizinischen Anwendungen empfohlen, die eine Sterilisation erfordern und jeweils hoher Hitze standhalten können, was sie zu guten Kandidaten für viele industrielle Hochtemperaturanwendungen macht. Dank seiner Transluzenz ist Figure 4™ MED-AMB 10 auch eine gute Wahl für Anwendungen, die die Visualisierung eines Flüssigkeitsstroms erfordern.

- Erfüllt die Normen ISO 10993-1 für Biokompatibilität
- Thermische Beständigkeit über 100 °C
- Sterilisierbar durch Autoklav



**Auch für Dentalfachleute,** die nach Lösungen für die digitale Produktion suchen, ist die Figure 4®-Plattform die richtige Lösung. Sie bildet die Grundlage für das NextDent-Portfolio von 3D Systems, zu dem auch der NextDent 5100, ein Highspeed-3D-Drucker mit kontaktloser Membran für Dentalanwendungen und verlorene Gussmodelle, und ein Portfolio von 30 biokompatiblen NextDent-Werkstoffen für 12 Indikationen gehören.



**Figure 4™ EGGHELL-AMB 10:** Ein prozessoptimierter Werkstoff zur Herstellung von verlorenen Formen zum Gießen von Silikonanteilen in jedem Härtegrad. Er wurde speziell entwickelt, um dem Einspritzen von Flüssigsilikon bei hohen Temperaturen und mit hohem Druck standzuhalten, mit absichtlicher Sprödigkeit, damit die Form leicht vom Silikon wegbriecht, sobald sie gefüllt wurde und abgekühlt ist. Die Bernsteinfarbe ermöglicht die Visualisierung des eingespritzten Silikons. Der Werkstoff weist auch einen hohen HDT-Wert, ein hohes Zugmodul und eine geringe Bruchdehnung auf – also alle wünschenswerten Eigenschaften für die Spritzgießbarkeit von Formen.

- Entwickelt, um der Silikoneinspritzung bei hohen Temperaturen und hohem Druck standzuhalten
- Leicht abzulösen, sobald die Form ausgehärtet ist
- Hervorragende Oberflächenbeschaffenheit – keine Spuren nach dem Entfernen der Form



**Figure 4™ JCAST-GRN 10:** Ein kontrastreicher grüner Werkstoff, der für sauberes und einfaches Ausbrennen für Direktgussanwendungen optimiert ist. Dieser Werkstoff wurde für Schmuckgussprofis entwickelt, um die schnelle Herstellung genauer, reproduzierbarer und hoch detaillierter Urmodelle für den Guss zu ermöglichen.

- Geeignet für eine Reihe von Edelmetallen
- Modelle stabil genug für den Versand
- Ermöglicht Direktguss ohne Werkzeugbereitstellung

**Wie in diesem Whitepaper erläutert, stellen die niedrigeren Kosten durch die werkzeuglose digitale Produktion sowie die bedarfsgerechte Herstellbarkeit von Teilen und die neue höhere Komplexität der Teile reale und überzeugende Vorteile gegenüber dem konventionellen Spritzguss dar.**

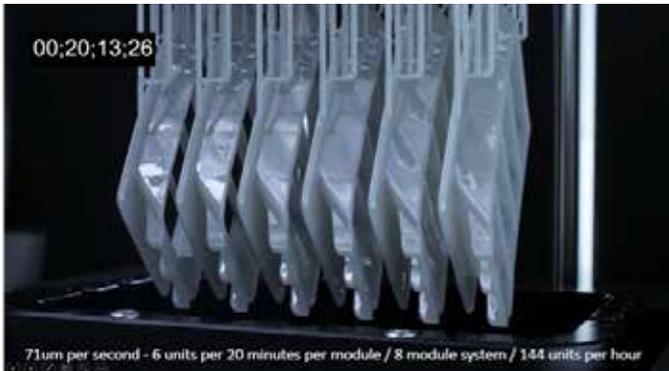
# Die alles ermöglichende Technologie

Vor 30 Jahren hatte Chuck Hull die Vision, wie Figure 4® zu einer extrem schnellen Fertigung von SLA-Teilen führen könnte.

Die außergewöhnliche Geschwindigkeit des Prozesses würde die Zeit, die flüssiger Werkstoff in der Wanne verbleiben müsste, drastisch verringern. Hierdurch würde der Einsatz einer Vielzahl von Hybridmaterialien ermöglicht, die den in den herkömmlichen Gießverfahren verwendeten Werkstoffen entsprächen. Das Problem dabei war, dass die für die Umsetzung seiner Vision erforderlichen Fortschritte in der Technologie noch nicht erzielt waren – bis jetzt.

## Die Fortschritte in verschiedenen Bereichen machen die digitale Direktproduktion jetzt möglich:

- Die kontinuierliche Weiterentwicklung der additiven Fertigungstechnologie ermöglicht die schnellere und einfachere Fertigung von Teilen mit sehr viel höherer Formgenauigkeit.
- Stetige Entwicklung von Werkstoffen, einschließlich Mischungen aus mehreren Materialien, deren physische Eigenschaften herkömmlicher Spritzgussteile entsprechen.
- Die höhere Geschwindigkeit bei der Verarbeitung von Rohmaterialien in der Wanne führt zu besseren, vielfältigeren Materialeigenschaften.
- Digitale Texturierung, die komplexe, optisch ansprechende Teile in einem Durchlauf ermöglicht, ohne zusätzlich Zeit für Design oder Verarbeitung aufwenden zu müssen.
- Entwicklung von CAD-/CAM-Software, die Designs für die einzigartigen Möglichkeiten des 3D-Drucks ermöglicht, einschließlich organischer und komplexer Designs, Konsolidierung von Teilen innerhalb einer Baugruppe sowie Verwendung leichterer Materialien mit höherer Festigkeit.
- Fortschrittliche Robotersysteme, die schnelle Verbindungen zwischen modularen Vorgängen und ein hohes Maß an Skalierbarkeit ermöglichen.



Die digitale Direktproduktion wurde durch das Zusammenspiel sich ergänzender Technologien möglich, die intelligent aufeinander abgestimmt wurden, um höhere Geschwindigkeiten, mehr Präzision und eine höhere Effizienz zu ermöglichen. Roboterarme führen die Teile durch jeden Schritt der primären und sekundären Prozesse, wodurch eine fortlaufende Fertigung von Teilen möglich ist.

In den letzten Jahren stellte der 3D-Druck eine attraktive Ergänzung zum herkömmlichen Spritzguss dar. Für einige Hersteller war so die direkte Fertigung von Teilen möglich, für die früher Spritzgusswerkzeuge erforderlich gewesen wären. Wieder anderen hat der 3D-Druck die schnelle Fertigung von Kunststoff- oder Metallformen ermöglicht, die konturnahe Kühlung und weitere Merkmale für mehr Effizienz und Temperatursteuerung aufweisen. Die werkzeuglose Digitalproduktion ist nun der nächste Innovationssprung.

Wie die digitale Fotografie, das digitale Drucken und digitale Videos wurde die digitale Direktproduktion durch das Zusammenspiel sich ergänzender Technologien möglich, die intelligent aufeinander abgestimmt wurden, um höhere Geschwindigkeiten, mehr Präzision und eine höhere Effizienz zu ermöglichen.



# Wie funktioniert die werkzeuglose Digitalproduktion?

- **Automatisierte Schritte erfordern weniger Eingriffe durch den Menschen**
- **Projektorbasierte Bereiche für additive Fertigung werden durch Roboterarme verbunden**
- **Auf die Praktiken und Standards der Industrie 4.0 ausgelegt**
- **Hoch skalierbar und innerhalb von automatisierten Produktlinien einsetzbar**

Der dank der Figure 4®-Technologie von 3D Systems mögliche digitale Fertigungsprozess besteht aus separaten Modulen für die einzelnen Schritte der Direktproduktion. Der Druck mit Figure 4® kann automatisiert werden, wodurch weniger menschliche Eingriffe erforderlich sind. Nach Eingabe der Datei für die in diesem Whitepaper beschriebene Lüftung, die als Benchmark für die digitale Fertigung gilt, wurde innerhalb von 92 Minuten das erste Teil gefertigt. Anschließend wurde alle 95 Sekunden eine weitere Lüftereinheit produziert.

Die Figure 4®-Technologie ist so schnell, dass 3D Systems aufgrund seines Tempos die digitale Direktfertigung dominiert. Je nach Geometrie und Material kann ein 3D-Objekt in einer in Millimeter pro Minute bemessenen Geschwindigkeit aus einer zweidimensionalen Ebene gezogen werden.

Je nach eingesetzter Figure 4®-Technologie Konfiguration führen Roboterarme die Teile durch jeden Schritt der primären und sekundären Prozesse, wodurch eine fortlaufende Fertigung von Teilen möglich ist. Die Roboterarme ziehen die Teile rasch aus dem Harzbad und führen diese durch den Wasch-, Trocken- und Aushärtungsvorgang. In Figure 4® lassen sich auch digitale Prüfverfahren integrieren, damit die für die Praktiken und Strategien der Industrie 4.0 erforderlichen Sensoren und Datenerfassungsmöglichkeiten genutzt werden können. In Verbindung mit der Software von 3D Systems können die Figure 4®-Lösungen unter Nutzung von Industriestandardprotokollen wie

MTConnect und OPC Unified Architecture (OPC UA) in Echtzeit kommunizieren. Die Software von 3D Systems bietet betriebliche und technische Unterstützung, und zwar sowohl im Fertigungsbereich als auch remote über Online- und Cloud-Verbindungen, wodurch ein effizienter Datenaustausch für die intelligente Fertigung ermöglicht wird.

Die Direktproduktion ist – so wie sie von 3D Systems umgesetzt wird – hoch skalierbar und lässt sich in automatisierte Produktlinien integrieren. Sie ermöglicht die Fertigung von Groß- und Kleinserien und einen raschen Wechsel bei der Produktion unterschiedlicher Teile. So haben Hersteller die Möglichkeit, ein Design schnell zu iterieren und Endnutzungsteile umgehend zu fertigen.

## Vorteile

**Der Wegfall von Werkzeugen für den Fertigungsprozess ermöglicht eine Verkürzung der Produktionszeit, höhere Flexibilität sowie die gleichzeitige Fertigung mehrerer Produkte.**

**Folgende Vorteile ergeben sich dadurch für den Produktionsprozess:**

- **Kein Warten auf Werkzeuge:** Sobald das Design des 3D-Teils vollständig ist, kann die Produktion sofort beginnen. Beim herkömmlichen Spritzguss dauert es für gewöhnlich Wochen, bis das Design und die Fertigung der Werkzeuge fertiggestellt sind.
- **Keine Mindestbestellmenge:** In Verbindung mit der maximalen Flexibilität im Design eines digitalen Arbeitsablaufs eröffnet die Fertigung von Teilen ohne Werkzeugbearbeitung die Möglichkeit, Teile in beliebigen Mengen ohne wirtschaftliche Nachteile zu liefern.
- **Geringere Kosten:** Die digitale Direktproduktion senkt Arbeits-, Bearbeitungs-, Iterations- und Testkosten.
- **Hochwertige, langlebige Materialien:** Die Materialien erfüllen die Qualitätsansprüche für bestimmte Anwendungen. Die Erarbeitung von Hybridmaterialien ermöglicht eine Bandbreite von physischen Eigenschaften, die denen von verschiedenen Thermoplasten entsprechen, die beim Spritzguss zum Einsatz kommen.
- **Keine Massenfertigung:** Die aktiv fließende Produktion von Teilen macht eine Massenfertigung von Teilen innerhalb des Produktionsprozesses überflüssig.
- **Auf Produktionsanforderungen skalierbar:** Die Systeme lassen sich durch das Hinzufügen von Modulen problemlos skalieren.
- **Keine Wartezeit aufgrund von Werkzeugwechsel:** Hersteller können die Teilegeometrien für eine umgehende Fertigung rasch wechseln.
- **Schnelle Fertigung einer Vielzahl von Teilegeometrien:** In jedem Aufbau lassen sich viele Teilegeometrien fertigen. Teile in Kleinserie können auch zur Massenfertigung konfiguriert werden, sodass eine flexible Produktion einer Vielzahl von Teilen möglich ist.
- **Größere Komplexität der Teile:** 3D-Drucker können Teile mit komplexen Formen und optimierten Merkmalen produzieren, die mit dem herkömmlichen Spritzgussverfahren niemals denkbar wären.
- **Effizientere Anpassung von Teilen:** Das Design der Teile kann ohne die Beschränkung einer Werkzeugbearbeitung individuell angepasst und dann sofort gefertigt werden.
- **Lösung von Problemen bei der physischen Lagerung:** Die digitale Direktproduktion beseitigt Lagerhaltungsprobleme. Hierzu gehören z. B. die logistische Verwaltung, Lagerung sowie Zersetzung von Teilen und Formen, verloren gegangenes Inventar und Zeitaufwand für das Auffinden und Holen der Teile.
- **Ergänzt bestehende Fertigungsmethoden:** Figure 4®-Konfigurationen lassen sich in andere Prozesse im Fertigungsbereich integrieren und für die anfängliche Kleinserienfertigung (Low Rate Initial Production, LRIP) einsetzen, ehe auf Massenfertigung mit herkömmlichem Spritzguss umgestellt wird.



# Wirtschaftliche Faktoren

- Auswirkung auf die Markteinführungszeit für Teile in Kleinserie
- Potenzial zur Verringerung der Kosten für Design, Produktion und Arbeitsaufwand
- Effizienteres Product Lifecycle Management (PLM)
- Höhere Komplexität der Teile und schnellere Optimierung/Individualisierung möglich

## Keine Werkzeuge bedeutet schnellere Markteinführung

Die Werkzeugherstellung für den Spritzguss erfordert Zeit – nicht nur zur Fertigung, sondern auch für das Design, für die Änderungen am Design und für die Freigabe. Sobald das Werkzeug gefertigt ist, kann es nur durch Wiederholen desselben Prozesses geändert werden, wobei man erwartet, dass das Ergebnis besser ist. Dies ist ein fixer Komplex aus Metall, Zeit und Kosten.

Der Vorteil der Direktproduktion besteht darin, dass diese ohne Werkzeuge auskommt. Das Design für Figure 4® richtet sich ausschließlich nach der Funktionalität, nicht nach Schrägungswinkeln, Unterschnitten, Einlegern und sonstigen Merkmalen, die für den Spritzguss entscheidend sind. Im Vergleich zu mehreren Wochen, die für ein erstes Design eines texturierten Spritzgussteils erforderlich sind, kann das Design für die werkzeuglose Direktproduktion innerhalb von Stunden erstellt werden, was anhand der in diesem Dokument erläuterten Benchmark-Tests im Rahmen der Fertigung von Lüftungen für die Automobilindustrie beispielhaft demonstriert wurde.



Die Direktproduktion kommt ohne CNC-Bearbeitung aus, die für gewöhnlich zwei oder drei Wochen in Anspruch nimmt. Ebenso entfällt der Tag, der normalerweise für erste Versuche zur Einstellung von Temperatur, Verweildauer und weiteren Parametern benötigt wird.

Den Benchmark-Tests von 3D Systems zufolge können innerhalb von 11 Tagen aus einem Figure 4®-Array mit acht Modulen 10.000 Einheiten einer texturierten Lüftung für Automobile entstehen, während beim Spritzgussverfahren noch das Design erstellt wurde. In der Zeit, in der mit herkömmlichen Spritzguss 10.000 Einheiten der Lüftung gefertigt werden, kann ein Hersteller mit Figure 4® fast 14.000 Einheiten produzieren.

Aufgrund der schnellen Umsetzung von CAD zur Produktion ist die digitale Direktproduktion die ideale Lösung für Kleinserien oder die Produktionsüberbrückung, wodurch Unternehmen Produkte viel schneller auf den Markt bringen können und die Option haben, auf Spritzguss umzustellen und die Produktion zu erhöhen, wenn die Werkzeuge fertig sind.



*Figure 4® packt die Design-Flexibilität der additiven Fertigung in konfigurierbare Produktionsmodule für Fertigungslinien, um eine spezifische und automatisierte 3D-Direktfertigungslösung zu schaffen.*

## Der Kostenfaktor

Die Werkzeugbearbeitung ist natürlich nach wie vor erforderlich, wenn Hunderttausende oder Millionen Teile produziert werden müssen. Wenn ein 30.000 US-Dollar teures Werkzeug für die Bearbeitung von einer Million Teile eingesetzt wird, liegen die Kosten pro Einheit bei 0,03 US-Dollar. Dies ist ein sehr guter Wert. Diese Gleichung sieht jedoch ganz anders aus, wenn eine geringe Anzahl von Teilen – ein Teil bis ca. 1.000 Teile – produziert wird. In diesem Fall können die Kosten für jedes im Spritzgussverfahren hergestellte Teil um das Zehn- bis Hundertfache höher sein als bei der werkzeuglosen digitalen Produktion.

Neben den Kosten für die tatsächliche Fertigung eines Teils mit herkömmlichen Spritzguss gibt es noch weitere finanzielle Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, z. B. teure Fachkräfte, die für das Design des Werkzeugs über mehrere Wochen im Einsatz sind, während das Design eines funktionalen Teils für die digitale Produktion in wenigen Stunden fertig ist.

In einem werkzeugfreien Verfahren erfolgt die Fertigung direkt im Anschluss an das Design. Hersteller müssen nicht die zusätzlichen Kosten für Arbeit, Materialien, CNC-Bearbeitung und Tests berücksichtigen, ehe die tatsächliche Fertigung beginnt.

Durch die Direktproduktion sinken auch die Kosten für Designiterationen – wenn das Produkt nicht so aussieht oder funktioniert wie geplant, wird es in der CAD-Software geändert und direkt wieder gefertigt. Es muss also kein neues Werkzeug entworfen, keine Form produziert und keine physischen Tests durchgeführt werden.

## Folgen für das Product Lifecycle Management (PLM)

Der Nutzen der Direktproduktion für das PLM ist offensichtlich: Produkte können fast unmittelbar nach dem finalen Design ausgeliefert werden. Alles, was die Markteinführungszeit verkürzt, stellt einen absoluten Wettbewerbsvorteil dar. Die Direktproduktion zählt in dieser Hinsicht zu den größten Wegbereitern der letzten Jahrzehnte.

Die Flexibilität, schnelle Änderungen am Design vorzunehmen, Produktdesigns für eine bessere Leistung zu wiederholen und zeitnahe Aktualisierungen vorzunehmen, wird sich unter dem Strich garantiert als großer Vorteil für die Hersteller erweisen.

Wenn die Produkte die späteren Phasen ihres Lebenszyklus erreichen, ist die Direktproduktion weiterhin von großem Nutzen. Nehmen wir einmal an, ein Hersteller hat die Fertigung eines Produkts eingestellt. Die Hersteller bestimmter Produkte sind gesetzlich dazu verpflichtet, Ersatzteile auch dann noch bereitzustellen, wenn die Produktion schon vor vielen Jahren eingestellt wurde.

Diese Ersatzteile werden oftmals nur in sehr geringen Mengen benötigt. Sollten Ersatzteile nicht auf Lager sein, muss der Hersteller die Form finden, sicherstellen, dass diese noch verwendbar ist, sie in die Spritzgussmaschine einsetzen, Testläufe durchführen und dann eine geringe Anzahl von Teilen unter großem Arbeits- und Kostenaufwand produzieren.

Sollte die Form beschädigt, abgenutzt oder verrostet sein, können die Kosten schnell auf mehrere Zehntausend Dollar steigen, da dann auch das Werkzeug neu gefertigt werden muss. Und all das nur, um vielleicht eine Handvoll Teile zu fertigen. Die Auslieferung erfolgt dann erst nach mehreren Wochen. Bei digital gespeicherten Teilen ist sie nach wenigen Tagen möglich.

Dank Direktproduktion können Ersatzteile auf Abruf gefertigt werden. Der einzige Lageraufwand entsteht in diesem Fall für den digitalen Speicherplatz der Datei. Die Teile lassen sich auf Grundlage der vorhandenen CAD-Datei umgehend fertigen. Dies ist die ideale Lösung für die werkzeugfreie On-Demand-Fertigung von Teilen in Kleinserie.

## Schnellere, günstigere und bessere Teile

Einer der bedeutendsten Vorteile des 3D-Drucks – die Möglichkeit, komplexe Teile ohne zusätzliche Kosten zu fertigen – wird noch offensichtlicher, wenn man bedenkt, welche Zeit und Kosten für das Hinzufügen von Merkmalen, z.B. Strukturen, bei im herkömmlichen Spritzgussverfahren hergestellten Teilen erforderlich sind.

Die Fertigung einer Lüftung für Automobile mit Texturen, wie in diesem Dokument für die Benchmark-Test herangezogen, erhöht den Zeitaufwand für das Design und die Produktion beim Spritzguss.

Beim 3D-Druck wirkt sich die Komplexität weder auf die Zeit noch auf die Kosten aus. Tatsächlich können in einigen Fällen Kosten sogar reduziert werden, da weniger oder leichteres Material verwendet werden kann, während die Festigkeit und Langlebigkeit gleich bleiben oder verbessert werden.

Da sie nicht auf analogen Technologien basieren, können die Geometrien quasi im Handumdrehen angepasst werden. Es gibt kein physisches Werkzeug, das gewechselt werden muss: Die digitale Datei wird geändert, und es kann sofort mit der Fertigung begonnen werden.

Bei der Lüftung für Automobile wurden die Oberflächentexturen schnell und in Echtzeit von Büffelleder zu einem Kohlefasereffekt geändert. Bei der digitalen Produktion lassen sich Teile innerhalb weniger Minuten anpassen, um bestimmten Ansprüchen von Kunden oder Märkten zu genügen. Beim Spritzguss sind dafür neue Werkzeuge erforderlich.

*Digitale Texturierung*



# Benchmark-Methode und Ergebnisse

## Die Methode

3D Systems führte eine Benchmark-Studie durch, bei der das Design und die Fertigung einer Automobillüftung mit digitaler Direktproduktion mit dem Design und der Fertigung mit dem herkömmlichen Spritzgussverfahren verglichen wurden.

Die Studie wurde von Ingenieuren überwacht, die gemeinsam fast 50 Jahre Erfahrung in digitalen und herkömmlichen Design- und Fertigungsverfahren hatten. Das Design und die Fertigung wurden von Unternehmen übernommen, die über die erforderliche Expertise in den Bereichen CAD/CAM, CNC-Bearbeitung, Spritzgussdesign und additive Fertigung verfügten.

## Zeiterfassung

Die Zeit für die digitale Direktproduktion wurde auf Grundlage des tatsächlichen Zeitaufwands erfasst, der für das Design der strukturierten Automobillüftung für den 3D-Druck erforderlich war. Die Ingenieure maßen dann die Zeit, die erforderlich war, um die 3D-Designdaten durch eine Konfiguration mit acht Maschinen laufen zu lassen.

Die Zeitmessung für das Spritzgussdesign startete, sobald die Designdaten an den Lieferanten von Spritzguss-Kleinserien übermittelt wurden. Der Lieferant analysierte die Herstellbarkeit des Designs (Design for Manufacturing) und schickte die Datei dann an die Ingenieure von 3D Systems zurück, damit diese Änderungen und finale Iterationen vornehmen konnten. Der Lieferant stellte 3D Systems anschließend einen Bericht zum Bearbeitungsstatus bereit, in dem der Zeitaufwand für das Layout und Design der Form sowie für jeden Schritt, der für die Erstellung des Werkzeugs und die Fertigung der Teile erforderlich war, erfasst wurde.

KENNZAHL	ABB. 4 (STREAMING)	SPRITZGUSS FORMHERSTELLUNG
Zeitaufwand Design	3 Stunden	2 Tage
Werkzeugdesign	0 Stunden	3 Tage
Werkzeugerstellung	0 Stunden	14 Tage
Geschätzter Arbeitsaufwand für CAD, Werkzeugdesign und Werkzeugausstattung	121 USD	4.315 USD*
Kosten für interne Werkzeugbearbeitung	0 USD	4.850 USD
Dauer bis zur Fertigstellung des ersten Teils	92 Minuten	15 Tage
Sekunden pro Teil**	95 Sek./Einheit	55 Sek./Einheit
Gesamtkosten pro Teil (bei 500 Teilen)***	7,90 USD	10,50 USD
Kosten pro Teil (bei 10.000 Teilen)***	7,90 USD	1,29 USD
Design anpassbar	Ja	Nein

\* Basierend auf einem 8-Stunden-Arbeitstag und den Angaben des U.S. Bureau of Labor Statistics von einem Stundenlohn von 40,19 USD für Maschinenbauingenieure und 24,17 USD für Werkzeug- und Formenbauer.

\*\* Basierend auf einem automatisierten Drucksystem mit acht Maschinen.

\*\*\* Gesamtkosten beinhalten Amortisierung von Werkzeugen plus Materialkosten pro Teil.

## Kosten von Werkzeugen und Teilen

Die Angebote für die Werkzeuge wurden von drei verschiedenen Spritzgussanbietern eingeholt. Zwei von ihnen bieten Express-Spritzguss in Kleinserie an, und der dritte Anbieter fertigt auf herkömmlichem Wege in Masse. Die Angebote für die Werkzeuge reichten von 7.565 USD bis 9.700 USD.

Für die Teile wurden Angebote von den gleichen drei Anbietern eingeholt. Je nach Menge und Hersteller reichten diese von 0,98 USD bis 2,52 USD pro Teil.

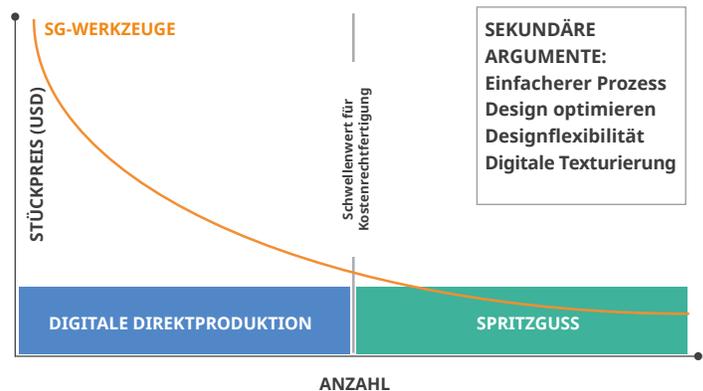
Für den Vergleich mit Figure 4<sup>®</sup> wurden die internen Kosten für Werkzeug und Teile eines der Express-Spritzgussanbieter herangezogen.

## Ergebnisse der Benchmark-Studie

Der Vergleich zwischen der digitalen Direktproduktion auf Grundlage der Figure 4<sup>®</sup>-Technologie von 3D Systems und dem herkömmlichen Spritzgussverfahren zeigt erhebliche Unterschiede in puncto Zeit- und Kostenaufwand für Design, Entwicklung und Werkzeuge.

Die Anschaffungskosten für Werkzeuge für den intern gefertigten Spritzguss betrugen 4.850 USD. Bei der digitalen Fertigung auf Grundlage der Figure 4<sup>®</sup>-Technologie von 3D Systems dagegen fallen keine Kosten für Werkzeuge an. Bei bis zu 700 Einheiten ist der digitale Formenbau dem herkömmlichen Spritzgussverfahren vorzuziehen.

## Digitale Direktfertigung vs. Spritzguss



# Aus der Sicht eines Branchenexperten

Tim Shinbara ist Vice President der Association for Manufacturing Technology (AMT). Er unterstützt Mitglieder der AMT dabei, Technologien weltweit bekannt zu machen, den Zugang zu technischen Ressourcen und Kenntnissen zu vertiefen und Investitionen innerhalb der Fertigungstechnik zu fördern.

Er hat den Fortschritt der additiven Fertigung untersucht, dokumentiert und sich überlegt, welche Auswirkungen die digitale Direktproduktion auf die Produktionswelt haben könnte. Die nachfolgenden Aussagen sind Auszüge aus einem kürzlich mit Shinbara geführten Interview.

## **Das Potenzial der digitalen Direktproduktion:**

*„Die Fähigkeit, ständig (und autonom) zwischen verschiedenen Fertigungsschritten wechseln zu können, führt zu einer erheblichen schrittweisen Reduzierung von Funktionen, die zu inakzeptablen Varianzen führen können. Der Anspruch muss sein, Verzögerungen und Unterbrechungen bei der Produktion zu vermindern, die mit der Entnahme von Teilen, der Rückgewinnung von Material und Ausrüstung einhergehen (man drückt quasi einfach „Zurücksetzen“ und produziert die nächste Charge mit der gleichen Maschine).“*

*„Der nächste logische Schritt für die industrielle additive Fertigung besteht darin, SLA weiterzuentwickeln, um durch die Integration automatischer Montageprozesse in Kombination mit Werkstoffmischungen, die dem Spritzguss in nichts nachstehen, höhere Endnutzungsanforderungen zu erfüllen.“*

## **Änderung der Voraussetzungen für die direkte Fertigung in Kleinserie**

*„Sicherlich ändern sich die Voraussetzungen für Teile, bei denen nur kleine Änderungen der Geometrien vorgenommen werden müssen, die aber dennoch eine Modifizierung der Formen und Muster durch den Hersteller erfordern.“*

*„Selbst wenn Spritzguss aufgrund der Nachfrage nach solchen Teilen geschäftlich letztlich Sinn macht, ist die schnellere Lieferung von Kleinserien an den Kunden womöglich ein so überzeugendes Leistungsversprechen, dass geringfügig höhere Kosten für die Kunden zu ertragen sind. Später würde ein Übergang zur Produktion im Spritzgussverfahren stattfinden, damit die Hersteller die Kosten der additiven Fertigung im Preis für ein Einzelteil amortisieren können oder einen geringeren Preis anbieten können, sobald der Übergang zum Spritzgussverfahren erfolgt ist.“*

## **Produktion einer neuen Klasse hybrider Materialien:**

*„Der Einsatz von Hybridmaterialien ermöglicht eine Vielzahl von Gebrauchseigenschaften, wenn die geometrische Freiheit der additiven Fertigung gemeinsam mit der wortwörtlichen Flexibilität von Teilen wie Scharnieren und fließenden Strukturen mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften möglich sein soll – und zwar aus einem einzigen Aufbau.“*

## **Auswirkungen der On-Demand-Lieferung auf maßgeschneiderte Teile in Kleinserie und/oder Ersatzteile innerhalb des Product Lifecycle Managements:**

*„Derartige Kapazitäten würden es einem Hersteller ermöglichen, langfristig Wartungsarbeiten oder Teile/Baugruppen anzubieten, die eigentlich nicht mehr produziert werden. Das Wissen um solche Möglichkeiten kann sich auf das Design für*

*die Fertigung, die Gesamtkosten für den Lebenszyklus und die Gestaltung (und die Erfüllung) von Garantien und vertraglichen Verpflichtungen auswirken. Letztlich könnten die Gesamtkosten pro Teil für Fertigung, Wartung und Nachrüstung, Überarbeitung und erneute Bestellung gesenkt werden.“*

## **Möglichkeit der On-Demand-Fertigung von optimierten Teilen mit komplexen Formen und Texturen:**

*„Die Einbindung der durch SLA erzielten Oberflächenendbearbeitung bietet in Kombination mit der Kosteneffizienz der digitalen Direktproduktion ein hohes Potenzial, in den Bereich kleiner und mittlerer Serien einzudringen, die normalerweise im Spritzgussverfahren gefertigt werden. So werden mehr Kapazitäten für die On-Demand-Fertigung geschaffen, die möglicherweise einen attraktiven Wertbeitrag darstellt.“*

*„Diese Technologie eignet sich für On-Demand-Szenarien – in denen beispielsweise Last-Minute-Änderungen am Design erforderlich sind –, ohne dass deutliche Mehrkosten entstehen oder Verzögerungen bemerkbar sind. Gleichzeitig ermöglicht sie die Fertigung einer großen Bandbreite von Produkten (Geometrien, Materialien, Funktionen), die von On-Demand-Herstellern produzierbar sind, und senkt den Mehraufwand (für Lagerung und Investitionen). Außerdem bietet die Technologie maximale Flexibilität bei der Preisgestaltung, Produktion und für Dienstleistungsangebote.“*

*„Sicherlich ändern sich die Voraussetzungen für Teile, bei denen nur kleine Änderungen der Geometrien vorgenommen werden müssen, die aber dennoch eine Modifizierung der Formen und Muster durch den Hersteller erfordern.“*

## Zusammenfassung

**Die digitale Direktproduktion – in der Form, in der sie durch die modularen und hoch skalierbaren Highspeed-Konfigurationen von 3D Systems möglich wird –, hat das unmittelbare Potenzial, bei der Kleinserienfertigung von Kunststoffteilen den herkömmlichen Spritzguss abzulösen.**

Der Ansatz von 3D Systems bietet Vorteile, die sich durch alle Phasen des Product Lifecycle Managements ziehen – von Design und Konstruktion über die Fertigung bis hin zur Instandhaltung. Zu den wirtschaftlichen Argumenten für die Direktproduktion gehören eine schnellere Markteinführung, Kosteneinsparungen, eine bessere Produktentwicklung und höhere Produktivität bei Wartungen sowie die Möglichkeit, Kunststoffteile schneller und besser zu einem günstigeren Preis zu entwerfen, zu fertigen und zu optimieren.

Mehr unter: [www.projet-3d-drucker.de](http://www.projet-3d-drucker.de)