

# White Paper

**3D-gedruckte Spritzgusseinsätze  
mittels DLP-Verfahren:**

**Eine Fallstudie zu BASF Ultracur3D® RG 3280**

**September 2023**

Erstellt und zur Verfügung gestellt von:

# Zusammenfassung

Als Fusion von Additiver Fertigung und traditionellem Werkzeugbau ermöglicht **Rapid Tooling** innovative Ansätze, um den aktuellen Herausforderungen in der Produktentwicklung und Fertigung zu begegnen. Dabei positioniert sich Rapid Tooling nicht als Ersatz, sondern als wertvolle Ergänzung zum traditionellen Werkzeugbau. Besonders hervorzuheben sind hierbei Anwendungsbereiche wie die **Prototypenentwicklung, Validierung von Bauteilgeometrien** für das Spritzgießen und die Realisierung von wirtschaftlichen **Kleinserien**. Indem Rapid Tooling die Brücke zwischen dem traditionellen Werkzeugbau und der Flexibilität der Additiven Fertigung schlägt, zeigt sich immer deutlicher, welch enormes Potential in dieser Kombination für die zukünftige Produktentwicklung und Fertigung steckt.

Diese umfassende Studie fokussiert sich auf das für das DLP-Verfahren entwickelte, keramikgefüllte Harzsystem **BASF Ultracur3D® RG 3280**. Dabei stehen insbesondere folgende Aspekte im Mittelpunkt:

- **Verarbeitung im DLP-Druck:** Wie muss das Harz verarbeitet werden, um die gewünschten Eigenschaften und Ergebnisse zu erzielen?
- **Bauteilgestaltung:** Welche Designkriterien sind essentiell, um die Vorteile dieses Harzes optimal zur Geltung zu bringen?
- **Kompatibilität mit Thermoplasten:** Eine tiefgreifende Untersuchung des Verhaltens des Harzes im Kontakt mit verschiedenen Spritzguss-Thermoplasten, um eine optimale Integration in bestehende Fertigungsprozesse zu gewährleisten. Hierbei zeigt sich eine besonders gute Eignung des Harzes für die Verarbeitung von technisch relevanten Granulaten wie ABS, POM, PC und glasfasergefüllten PP-, PBT- und PA6.6-Typen. Die Thermoplaste stellen dabei unterschiedliche Ansprüche an die Auslegung der Tools sowie die Prozessführung im Spritzgießen. Für besonders polare Kunststoffe wie PBT werden unterschiedliche Trennmittel eingehend untersucht, wobei Silikonöl sich als die vielversprechendste Option erweist.

# Inhalts- verzeichnis



3D-gedrucktes Spritzgusswerkzeug  
Bild © DREIGEIST

02	<a href="#"><u>Zusammenfassung</u></a>
03	<a href="#"><u>Inhaltsverzeichnis</u></a>
04	<a href="#"><u>Vorwort</u></a>
05	<a href="#"><u>Beteiligte &amp; Rollen</u></a>
06	<a href="#"><u>3D-gedruckte Spritzgusseinsätze</u></a>
13	<a href="#"><u>Spritzgussversuche</u></a>
20	<a href="#"><u>Anwendungsbeispiel</u></a>
21	<a href="#"><u>Zukunftsperspektiven und Schlussfolgerungen</u></a>
23	<a href="#"><u>Autoren, Fußnoten &amp; Kontakt</u></a>

# Vorwort

## Das Potenzial des 3D-Drucks in der Spritzgusstechnik

### Einführung in die Herausforderungen der Industrie

In der Spritzgussindustrie sind die Herausforderungen vielfältig und komplex, darunter Kosten- und Zeitdruck, Fachkräftemangel, hohe Strompreise, sinkende Rohstoffpreise in der EU, steigende Beschaffungsrisiken und die Forderung nach Digitalisierung.<sup>1</sup>

Der 3D-Druck wird zunehmend als mögliche Ergänzung zu traditionellen Herstellungsverfahren betrachtet. Durch seine Potenziale in den Bereichen Flexibilität, Effizienz und Attraktivität für junge Fachkräfte könnte er einen Beitrag zur Bewältigung einiger dieser Herausforderungen leisten.

### Der 3D-Druck als Ergänzung zur Spritzgusstechnik

Diese Überlegungen führen zu der Frage, wie der 3D-Druck konkret als Ergänzung zur herkömmlichen Spritzgusstechnik eingesetzt werden kann. Speziell zur Fertigung von Spritzgusseinsätzen bietet diese Technologie vielversprechendes Potenzial. Die Vorteile sind vielfältig und reichen von schnellerer Prototypenerstellung und Reduzierung der Werkzeugkosten bis zur Möglichkeit, Kleinserien umzusetzen, wobei der Zeitfaktor eine entscheidende Rolle spielt. Darüber hinaus fördert der 3D-Druck die Nachhaltigkeit durch Material- und Energieeffizienz sowie durch die

Reduzierung von Transportaufwand und Produktionsabfällen.<sup>2</sup>

### Technologische Integration und Innovation

Die Integration des 3D-Drucks eröffnet neue Möglichkeiten und adressiert die spezifischen Bedürfnisse von Unternehmen, die sowohl Innovation als auch Tradition verbinden möchten. Durch die Förderung gesteigerter Flexibilität in der Produktion, beschleunigter Innovationszyklen und einer effizienteren Individualisierung von Lösungen, bietet diese Technologie einen vielversprechenden Weg, um auf die Herausforderungen der modernen Industrielandschaft, einschließlich Fachkräftemangel und Nachhaltigkeitsanforderungen, zu reagieren.

### Ziel des Whitepapers

In diesem Whitepaper untersuchen wir das Potenzial des 3D-Drucks mit dem Material BASF Ultracur3D® RG 3280 in der Spritzgusstechnik. Die Studie fokussiert sich auf kontrollierte Versuchsreihen, bei denen das Verhalten und die Grenzen von Spritzgusseinsätzen untersucht werden. Diese technisch orientierte Analyse beleuchtet nicht nur die Funktionalität des Materials, sondern bietet auch praktische Einblicke in die Möglichkeiten und Limitationen der Anwendung.

# Beteiligte & Rollen



## DREIGEIST Additive Intelligence

Dreigeist, mit Sitz in Nürnberg, agiert als führender **Anwendungsentwickler für die Additive Fertigung** mit Photopolymeren. Das Unternehmen hat sich darauf spezialisiert, die Vorteile des 3D-Drucks zu nutzen, um nachhaltige und effiziente Produktionsprozesse in der Industrie zu etablieren. Für diese Fallstudie zeichnete Dreigeist nicht nur für die Entwicklung und Fertigung der 3D-gedruckten Spritzgusseinsätze verantwortlich, sondern hatte auch die Projektleitung inne. Ihre Expertise ermöglichte einen stabilen Herstellungsprozess und gewährleistete, dass die Möglichkeiten des Materials optimal ausgeschöpft wurden.



## SKZ – Das Kunststoff-Zentrum

Das Kunststoff-Zentrum SKZ steht seit seiner Gründung 1961 als führender integrierter Anbieter für Forschung, Weiterbildung und Testen von Produkten und Prozessen in der Kunststoffbranche. Als **anerkannter Experte im Bereich Spritzgießen** hat das SKZ die Spritzgussversuche im Technikum seiner Modellfabrik umgesetzt. Durch die Nutzung der vom SKZ entwickelten Geometrie "Stonehenge" wurden die Möglichkeiten und Limitationen des BASF Ultracur3D® RG 3280 für Spritzgusseinsätze praxisnah erprobt. Die langjährige Erfahrung des SKZ in der Branche machte es zu einem wertvollen Partner in dieser Fallstudie.

## BASF Forward AM



Mit der Einführung des BASF Ultracur3D® RG 3280 Materials, das **speziell für das DLP-Verfahren** entwickelt wurde, hat BASF Forward AM eine wichtige Lücke im Markt für 3D-gedruckte Spritzgusseinsätze geschlossen.

Das BASF Ultracur3D® RG 3280 bietet eine kostengünstige und zugängliche Option für die Herstellung von Spritzguss-Tools, was die Potenziale des DLP-Verfahrens in diesem Anwendungsbereich aufzeigt.

1

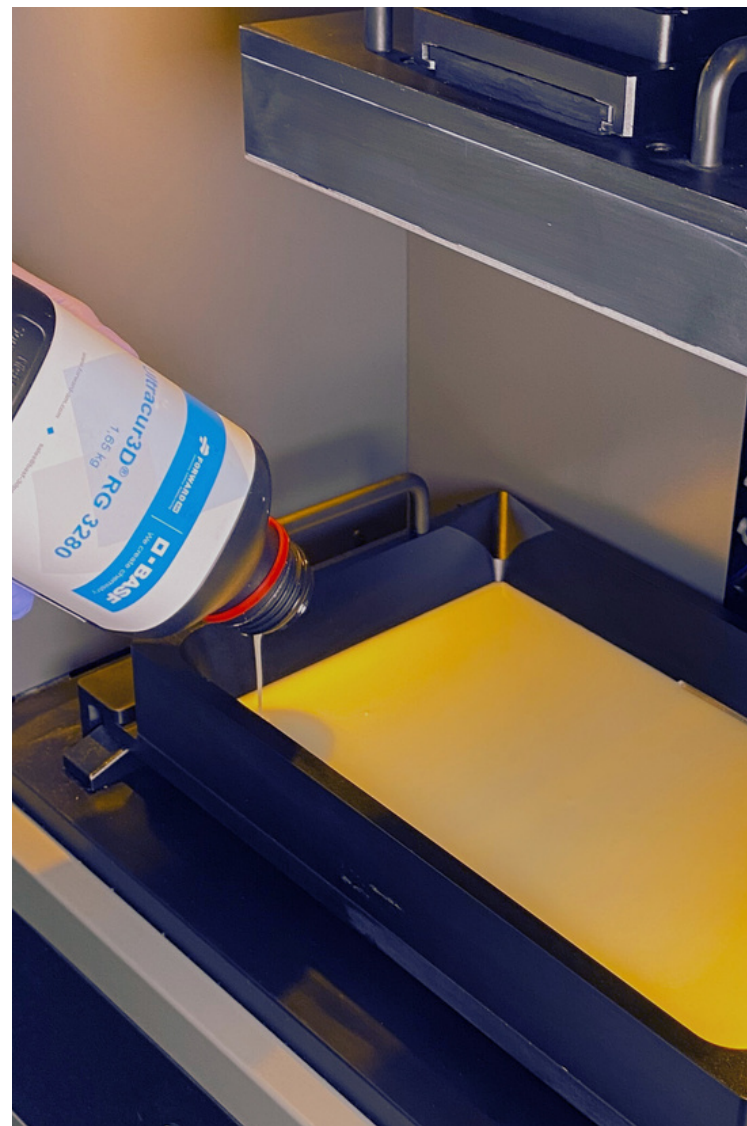
# 3D-gedruckte Spritzgusseinsätze

## Einblicke in Material, Technologie und Prozessführung

Was macht den Photopolymerdruck so besonders? Worauf kommt es bei einem 3D-Druck-Harz für Werkzeugeinsätze eigentlich an? Was muss in der Prozesskette, von der Konstruktion bis zum Nachvernetzen alles beachtet werden? Das erfahren Sie in diesem Kapitel!

### Das DLP-Verfahren

Das **DLP-Verfahren** (Digital Light Processing) steht als feste Größe in den additiven Fertigungstechnologien. Basierend auf dem Aushärten von **UV-empfindlichem Harz** in aufeinanderfolgenden Schichten mittels gezielter Lichtbestrahlung, ermöglicht es die Erzeugung von Bauteilen mit hoher **Detailgenauigkeit** und **Präzision**. Ein markantes Merkmal dieses Verfahrens ist die simultane Aushärtung ganzer Schichten, wodurch eine effiziente Produktionszeit erreicht wird. Durch den gezielten Einsatz des Harzes wird ein minimierter Materialverbrauch sichergestellt, der zu einer gesteigerten Nachhaltigkeit des Verfahrens beiträgt. Die Vielseitigkeit des DLP-Verfahrens zeigt sich in der Kompatibilität mit diversen Materialien, insbesondere dem spezialisierten **BASF Ultracur3D® RG 3280**. Im Kontext der Fertigungstechnik präsentiert sich das DLP-Verfahren als flexible, kostenbewusste und ressourcenschonende Methode, die zukunftsweisende Möglichkeiten in Design, Geschwindigkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit bietet.



UV-Harz wird in die Materialwanne eines DLP 3D-Druckers eingefüllt. Bild © DREIGEIST

## Materialauswahl: BASF Ultracur3D® RG 3280

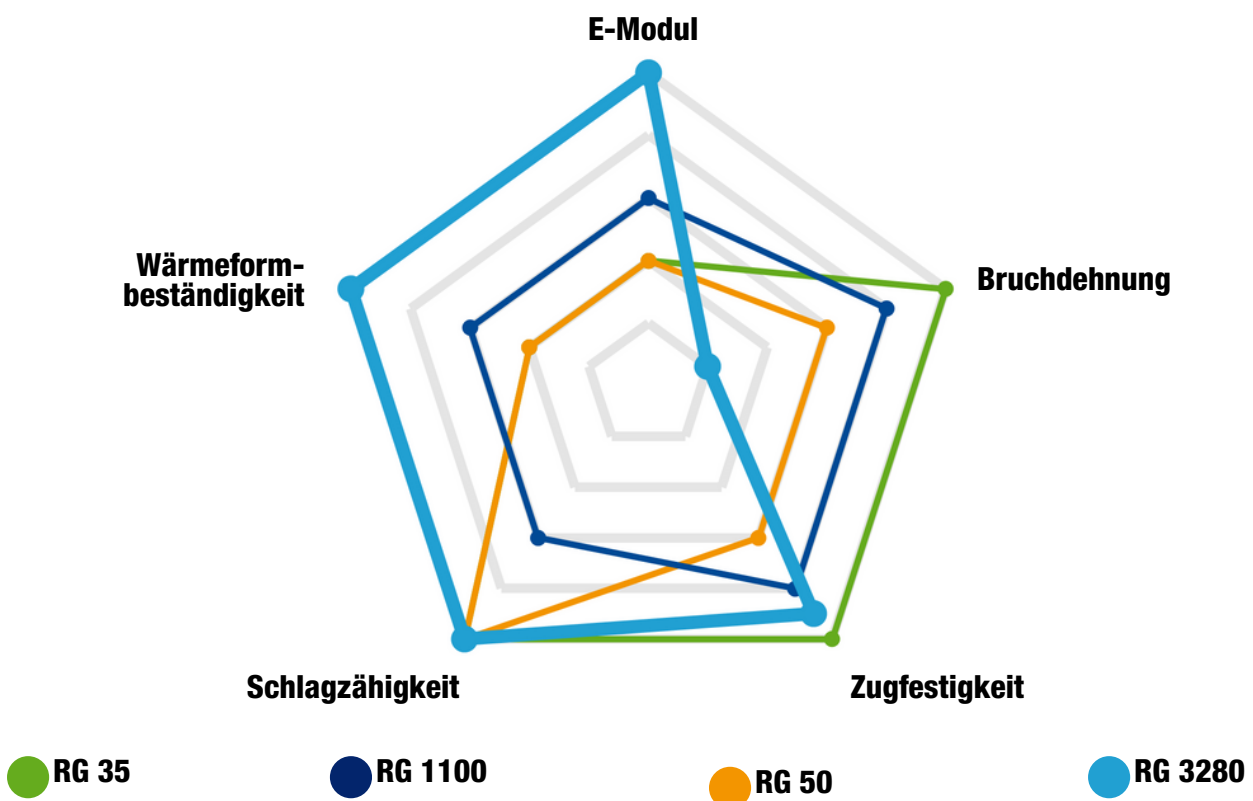
BASF Ultracur3D® RG 3280 ist ein keramikgefülltes Harz mit einer Steifigkeit von rund 10 GPa und einer Wärmeformbeständigkeit von über 280 °C.

Diese technischen Eigenschaften ermöglichen, dass das Material den anspruchsvollen Bedingungen des Spritzgießens standhält.

Damit eignet sich BASF Ultracur3D® RG 3280 gut für die Herstellung von 3D-gedruckten Spritzgusseinsätzen.

Zusätzlich erleichtern die geringe Viskosität und die hohe Suspensionsstabilität den Druckprozess.

Insgesamt bietet BASF Ultracur3D® RG 3280 eine optimale Kombination aus mechanischen Eigenschaften, die es zu einer ausgezeichneten Wahl für die Fertigung von Spritzgusseinsätzen machen. Es erfüllt die spezifischen Anforderungen der Spritzgusstechnik in Bezug auf Präzision, Effizienz und Kosten.

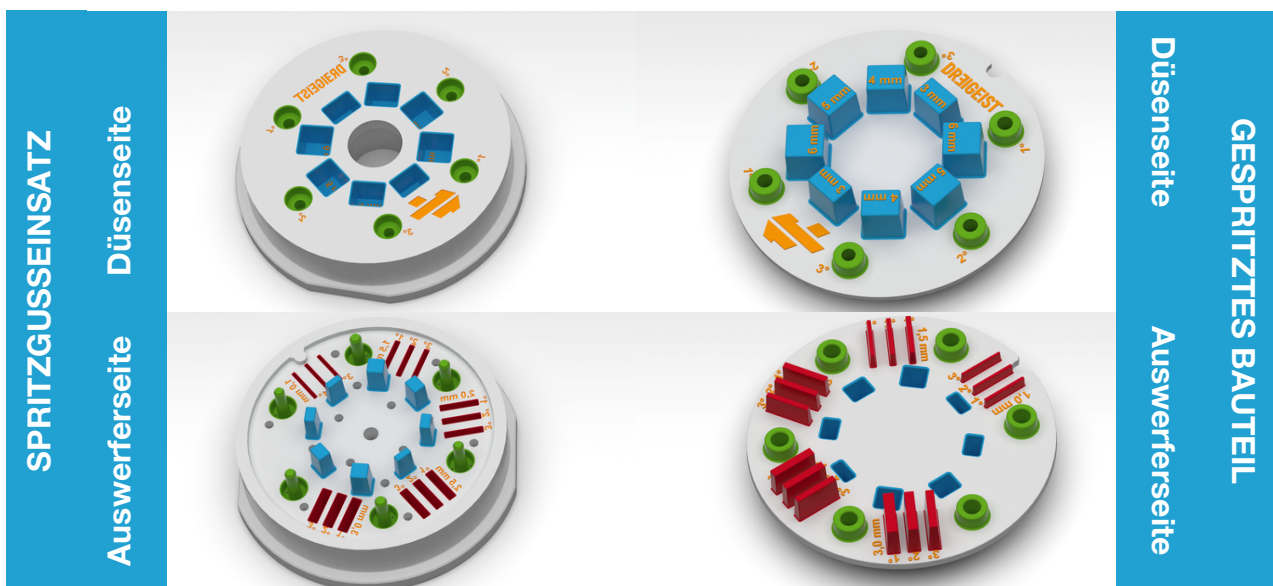


Die Kennwerte der BASF Ultracur3D®-RG-Familie im direkten Vergleich. Bild © DREIGEIST

## Die Tool-Geometrie für die Bemusterung: "Stonehenge"

Das Bemustern im Spritzgießen ist die Grundlage für die Sicherstellung einer ökonomischen Produktion. Hier werden bei Inbetriebnahme eines Werkzeugs **Schwächen frühzeitig erkannt** und behoben, die **Prozessparameter** eruiert und die Erreichung der geforderten **Bauteileigenschaften** sichergestellt.

Dieser Vorgang ist auch für 3D-gedruckte Spritzgusseinsätze essentiell. Es bietet sich durch die gestalterische Flexibilität an, die Druckbarkeit und Materialpaarungen vorab mittels besonders herausfordernder geometrischer Elemente zu untersuchen. Hierfür hat das SKZ ab 2017 die **Geometrie "Stonehenge"** entwickelt, welche seitdem u. a. mit DREIGEIST weiterentwickelt wurde. Die Qualitätsmerkmale sind nachfolgend dargestellt.



CAD-Aufnahmen des Stonehenge-Tools (links) und des dazugehörigen Bauteils (rechts) mit farblich markierten geometrischen Besonderheiten. Bild © DREIGEIST

### Kerne → Würfel

Die rechteckigen Kerne werden von der Schmelze angeströmt und dienen zur Beurteilung der Entformbarkeit sowie der Herstellung von hohlen Würfeln mit verschiedenen Wandstärken. Bei zu geringer Festigkeit des Harzes oder unpassendem Fließverhalten der Schmelze brechen die Kerne beim Füllen.

### Pins → Dome

Die Pins dienen als Touchiergeometrie zur Herstellung von Domen und verfügen über Entformungsschrägen von  $1^\circ$  bis  $3^\circ$  zur Untersuchung der von Harz und Thermoplast abhängigen Bauteilgestaltung. Die Pins sind durch den geringen Querschnitt das fragilste Element der Tools und werden einseitig umspült. Das Qualitätsmerkmal am Bauteil ist eine gratfreie Oberkante der Dome.

### Vertiefungen → Rippen

Die Vertiefungen im Tool sorgen im Bauteil für eine Rippenstruktur mit unterschiedlichen Höhen, Breiten und Entformungsschrägen. Ein Materialversagen im Tool zeigt sich am Ausbrechen der Stege zwischen den Vertiefungen.

### Schriften

Die in den Tools vertieften Schriften geben Aufschluss über die grundlegende Abbildungsfähigkeit von 3D-Druck-Material und -Maschine. Durch eine hitzebedingte Materialermüdung an der Tooloberfläche oder durch zu starke Anhaftung zwischen Harz und Thermoplast können Details der im Tool vertieften Schriften brechen.

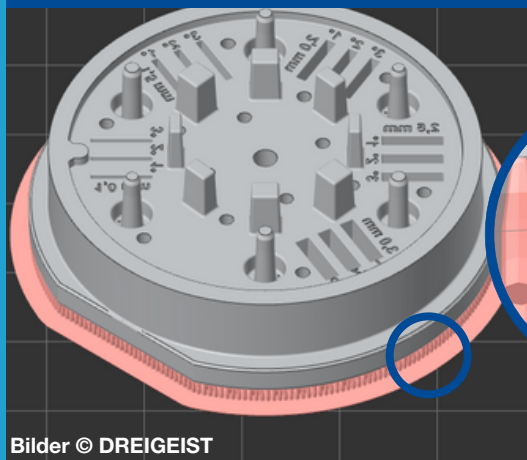


## Best Practices in der DLP-Prozesskette

### Pre-Processing

Um Stufeneffekte in der Kavität zu vermeiden, ist eine **ebene Anordnung** zu wählen. Je nach Geometrie des Spritzgussteils kann jedoch eine entlang der x- oder y-Achse rotierte Ausrichtung sinnvoll sein, wenn andernfalls ein **Sauggluckeneffekt** zwischen Kavität und Harzbad auftritt. Um eine ausreichende **Entlüftung der Bohrlöcher** sicherzustellen, finden in dieser Studie **Supportstrukturen** Verwendung.

Die wichtigsten Support-Parameter dieser Studie:



Bilder © DREIGEIST

- 4 mm Supporthöhe
- 1,0 mm Supportdicke
- 1,2 mm Supportabstand entlang der Konturen
- 1,6 mm Supportabstand innerhalb des Bauteils

### Materialvorbereitung

Für eine bestmögliche Durchmischung der Suspension wird die ungeöffnete Flasche **mindestens 2 Stunden auf einem Flaschenroller** gerollt. Das Resin wird unmittelbar vor dem Druck langsam in die Wanne gegeben. Vorhandene Luftbläschen können mit einem Silikonschaber herausgestrichen werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Folie auf der Wannenninnenseite nicht zerkratzt.

Langsames Befüllen neuen Materials:

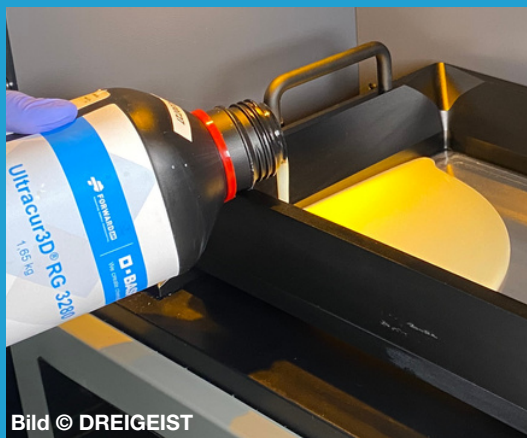


Bild © DREIGEIST

Vorsichtige Beseitigung von Luftblasen:

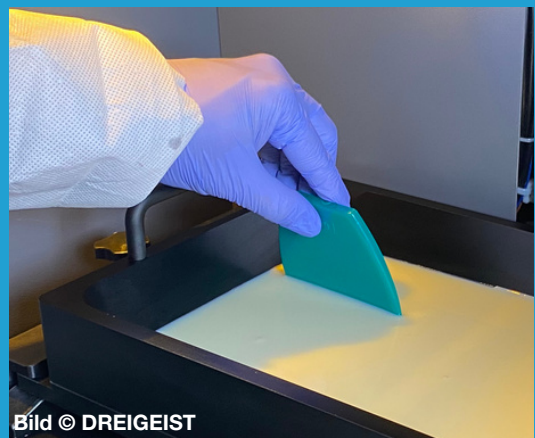
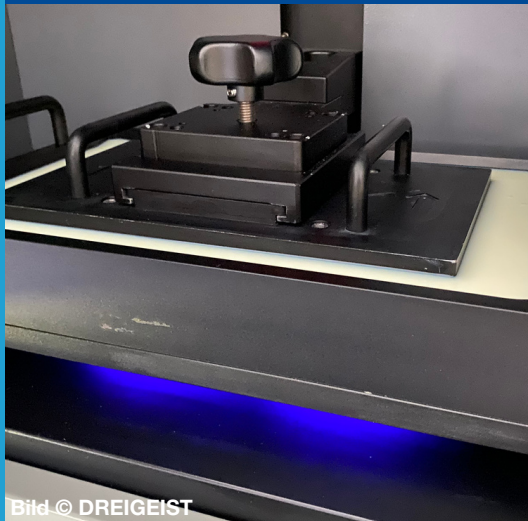


Bild © DREIGEIST

### DLP-Prozessparameter

Eine **Belichtungsintensität von 1,25 mW/cm<sup>2</sup>** liefert in dieser Studie die mechanischen Eigenschaften, die für die Anwendung im Spritzgießen gefordert sind. Für **Support, Infill und Kontur können individuelle Belichtungsstrategien** von Vorteil sein: Der Support soll im Prozess besonders stabil sein, während es bei den Konturen auf die Detailtreue ankommt.

Die wichtigsten DLP-Prozessparameter dieser Studie:



- **Intensität:** 1,25 mW/cm<sup>2</sup>
- **Belichtungszeiten:**
  - Support: 3,3 s
  - Infill: 2,6 s
  - Kontur: 2,3 s
- **"Einbrennen" der ersten 3 Schichten:**
  - Schicht 1: Belichtungszeit x 3,5
  - Schicht 2: Belichtungszeit x 2,5
  - Schicht 3: Belichtungszeit x 1,5

### Post-Processing: Entfernung von Support und Vorreinigung

Mit einem Spachtel werden die Tool-Hälften vom Support gelöst, während dieser noch an der Plattform sitzt. **Achtung: Einsätze nicht fallenlassen, da die Grünteile leicht beschädigt werden können!** Anschließend wird anhaftendes Harz mittels Druckluft und Hilfsmitteln wie z. B. Pfeifenreinigern weitestgehend entfernt.

Es ist essentiell, bei der Reinigung zügig vorzugehen, da das Material bei Kontakt mit Tageslicht reaktionsfähig bleibt und weiter aushärtet.



Ablösen vom Support



Ausblasen mit Druckluft



Vorreinigung von Löchern

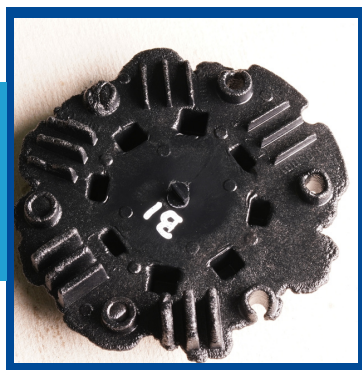
*Post-Processing: Waschen*

Die verbliebenen Harzrückstände werden durch Schwenken in einem **Isopropanolbad abgewaschen (Dauer: < 1,5 Minuten!)**. Anschließend erfolgt eine Trocknung mittels **Druckluft**.

Beim Waschen ist Schnelligkeit wichtig, da angenommen wird, dass Medien wie Isopropanol (IPA) das Material angreifen. Durch Eindringen von IPA ins Bauteil können Mikrorisse entstehen, die die Mechanik des Teils beeinträchtigen.

Die Bedeutung der Waschdauer mit Isopropanol zeigt sich bei den gespritzten Bauteilen A und B, deren Werkzeuge **1,5 bzw. 5 Minuten gereinigt** wurden. A und B stellen den **ersten Schuss** ihrer jeweiligen Werkzeuge dar. Bei B sind, trotz identischer Prozessparameter, **stabile Kerne abgebrochen und im Bauteil verblieben**.

SG-Bauteil A, intaktes Tool hatte 1,5 Minuten IPA-Kontakt



SG-Bauteil B, gebrochenes Tool hatte 5 Minuten IPA-Kontakt



Bilder © DREIGEIST

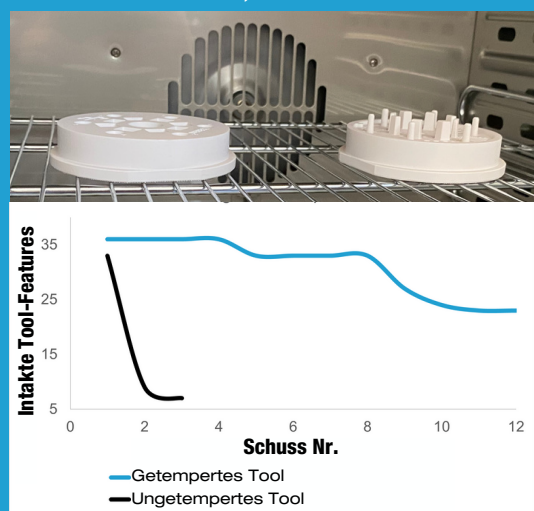
*Post-Processing: Nachvernetzung mit UV-Licht & Wärme*

Um das Maximum aus den mechanischen und thermischen Eigenschaften des Materials herauszuholen, erfolgt eine Nachvernetzung durch UV-Licht und Wärme. Die unten dargestellte Grafik untermauert die Wichtigkeit des Temperprozesses: Ungetemperte Tools versagen im Spritzgießen bereits nach wenigen Zyklen.

UV-Nachvernetzung:  
125 mW/cm<sup>2</sup>, 2 x 22 Minuten



Tempern: 150 °C; 2 h hochheizen,  
3 h halten, 2 h abkühlen



Bilder © DREIGEIST

## Qualitätssicherung und finales Scaling

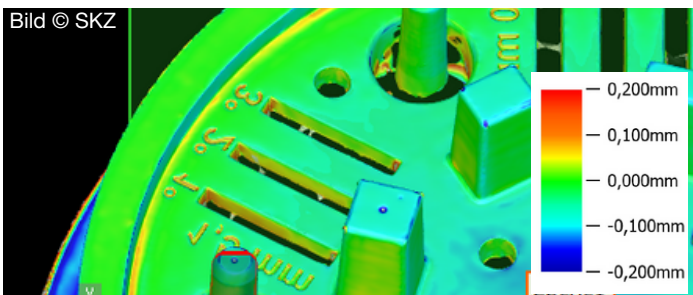
Die zuvor diskutierten Best Practices dienen nicht nur der Stabilität der Tools, sondern auch ihrer **Passgenauigkeit**.

Ist diese nicht gewährleistet, so werden die Tools im schlimmsten Fall beim Zusammenfahren in der Spritzgieß-Anlage **zerstört**.

Die Genauigkeit lässt sich z. B. durch optisches Scannen der Tools in einem **3D-Koordinatenmessgerät** mit Abgleich der .stl-Daten bestimmen.

Die mit der hier präsentierten Vorgehensweise erzielten minimalen Abweichungen beginnen bei gerade einmal:

- 0,02 Millimeter (x/y-Ebene)
- 0,05 Millimeter (z-Ebene)



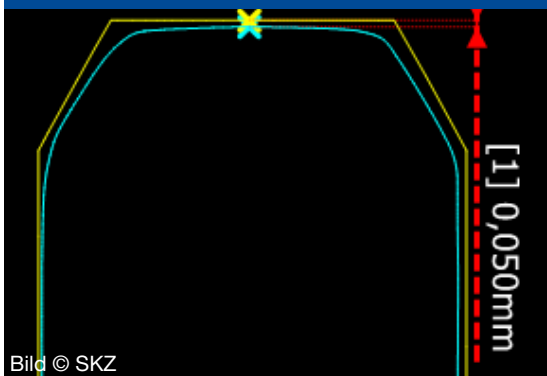
Abgleich Modell und .stl in 3D mittels Höhenkarte

So nicht! Ein Worst-Practice-Beispiel



Aufgrund signifikanter Abweichungen passen die Tool-Hälften nicht zusammen.

So ja! Minimale Abweichungen stören nicht.



Profilvergleich (2D) eines Pins im Modell (Türkis) und in der .stl (Gelb)

Ein 3D-Scan kann neben der finalen Qualitätssicherung auch für das anlagen- und bauteilspezifische **Scaling des 3D-Druckers** eingesetzt werden.

*"Die Leistungsfähigkeit von 3D-gedruckten Tools hängt von mehreren Faktoren ab: Erstens, hohe Intensitäten und Temperaturen im Post-Curing zur Steigerung der mechanischen Eigenschaften. Zweitens, angepasste Belichtungsstrategien innerhalb der Schichten zur Sicherung der Detailgenauigkeit, kombiniert mit der Einhaltung einer strikten Prozessroutine zur Sicherung der Qualität und Integrität des Tools."*

Christopher König, Technischer Geschäftsführer, DREIGEIST

2

# Spritzgussversuche

## Voraussetzung, Durchführung und Bewertung

Was wird für das Spritzgießen mit additiv gefertigten Werkzeugen benötigt? Wie müssen die Tools vorbereitet werden? Wie lassen sich verschiedene Thermoplaste verarbeiten? Das erfahren Sie in diesem Kapitel!

### Die Checkliste für das Spritzgießen

#### ✓ Maschine

Zwei grundlegende Voraussetzungen der Spritzgieß-Anlage für einfache Geometrien (Auf-Zu-Werkzeuge):

- Die gewünschte Werkzeuggröße muss in die Maschine passen.
- Das Schussgewicht muss stimmen.



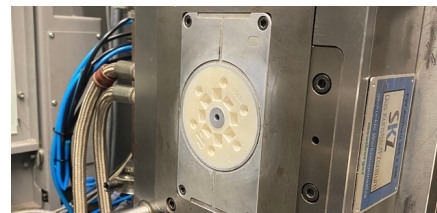
Einbau der Tools

#### ✓ Stammform

Der 3D-gedruckte Einsatz findet in einer Stammform sein Zuhause.

Vorhanden sein müssen:

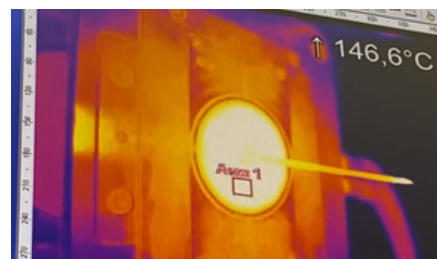
- Spritzgießwerkzeug-Rohling
- Passender Formrahmen



Einsatz in Stammform

#### ✓ Thermografie

Im Umgang mit Kunststoffwerkzeugen steht das Temperaturmanagement an erster Stelle. Ein Anschluss einer Thermokamera ist ratsam, um Entformungstemperaturen, Kühlzeiten und ähnliches kontinuierlich zu überwachen.



Prozessmonitoring

#### ✓ Mechanische Nachbearbeitung (Toolrückseite)

Die Nutzung von Support bedingt Unebenheiten, die ein flaches Anliegen der Tools in der Stammform stören. In der Konstruktion wird ein Aufmaß genutzt, welches z. B. durch Drehen präzise entfernt wird. Ein Überstand, selbst von nur einem Zehntel Millimeter, kann beim Schließen des Werkzeugs zum Bruch führen, da das Material wenig nachgiebig ist.



Support-Artefakte

Bilder © DREIGEIST

## Vorbereitung des Werkzeugs

### Die Bedeutung von Trennmitteln

Trennmittel erleichtern die Entformung von Thermoplasten, indem sie ein Anhaften an der Form verhindern, besonders unter langanhaltenden Temperatur- und Druckbelastungen. In dieser Untersuchung werden vier spezifische Trennmitteltypen betrachtet:

Silikonöl

Silikonfrei  
(Universal)

Silikonfrei (PC,  
PMMA, ABS)

Teflon

Die Analyse zeigt, dass Trennmittel entscheidend zu glatteren Bauteiloberflächen beitragen und zudem die Lebensdauer der Tools signifikant erhöhen.

Oberfläche  
Schuss 1 aus  
trockenem  
Werkzeug



Oberfläche  
Schuss 1 aus  
Werkzeug mit  
Silikonöl

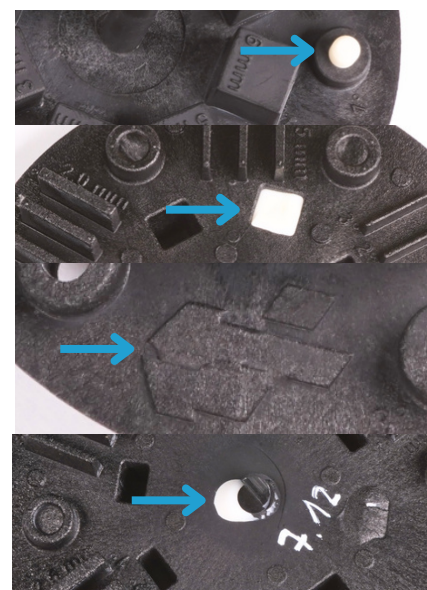


Bilder © DREIGEIST

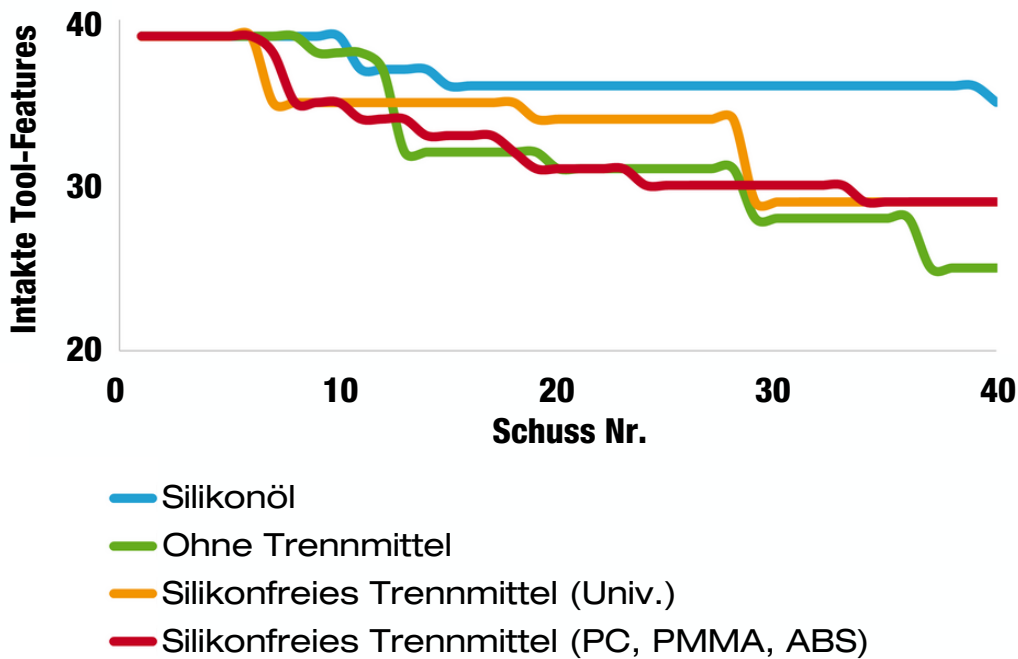
Wie oben zu sehen, kann der Spritzgieß-Prozess ohne Trennmittel durch eine minimale Haftung zwischen Werkzeug und Bauteil zu rauen Oberflächen auf letzteren führen. Bei stärkerer Anhaftung können sogar einzelne Features wie Pins oder Kerne verstärkt abbrechen. Wesentliche Faktoren hierfür sind bspw. die Polarität des Thermoplasten oder je nach Verarbeitungstemperatur erhöhte thermische Beanspruchungen der Tool-Oberfläche.

Die Bewertung der Effektivität der untersuchten Trennmittel für das Spritzgießen von glasfasergefülltem Polybutylenterephthalat (PBT) erfolgt durch Analyse der Beständigkeit von Tool-Features über fortlaufende Zyklen. Die **Feature-Anzahl (Maximalwert: 39)** ändert sich durch das Abbrechen einzelner Komponenten, die unterschiedlich gewichtet sind:

- **6 Pins** (rechts oben): sehr empfindlich, Faktor 1
- **8 Kerne** (2. von oben): weniger empfindlich, Faktor 3
- **Schriften und Stege für Rippen** (2. von unten): werden jeweils nur einmal gewertet, Faktor 2
- **Oberfläche** (unten): Ein Abplatzen deutet auf Versagen des Tools hin, Faktor 5



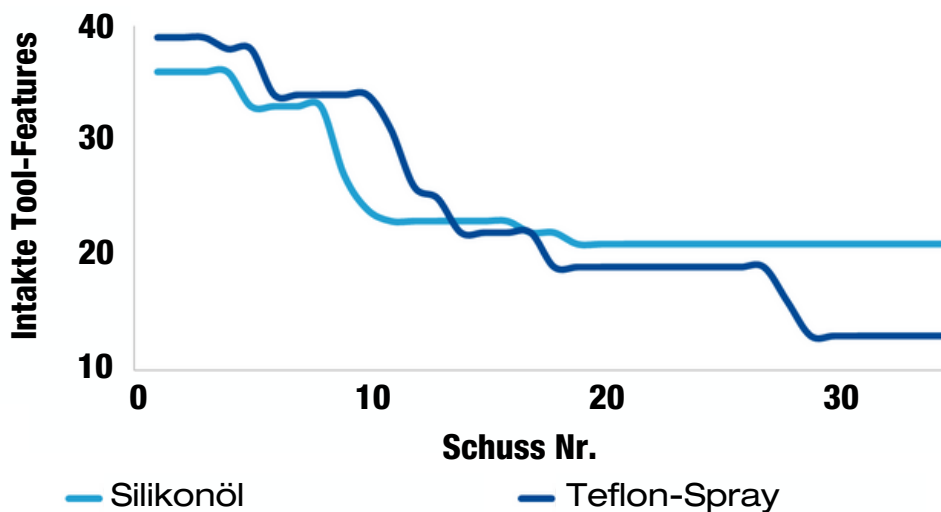
Bilder © DREIGEIST



Die Trennmittel im direkten Vergleich für die Verarbeitung von PBT GF30. Bild © DREIGEIST

Die Verwendung des Silikonöls, in Verbindung mit BASF Ultracur3D® RG 3280 und PBT GF30, zeigt sich besonders effizient für die Entformung.

Das glasfasergefüllte PA6.6 ist in der Verarbeitung vergleichsweise anspruchsvoller und beschädigt filigrane Elemente in den Einsätzen schneller. Anhand des PA6.6 GF25 werden Silikonöl und Teflon-Spray in ihrer Wirkung auf die Entformung verglichen. Auch hier geht der Trend gerade für höhere Schusszahlen zum Silikonöl.



Die Trennmittel Silikonöl und Teflon-Spray im direkten Vergleich für die Verarbeitung von PA6.6 GF25. Bild © DREIGEIST

In den durchgeführten Untersuchungen zeigt das Entformungsverhalten in Kombination von BASF Ultracur3D® RG 3280 mit 6 verschiedenen Thermoplasten (s. nächste Seite) folgende Trends für verschiedene Trennmittel (TM):

Silikonöl	Silikonfreies Universal-TM	Silikonfreies TM für PC, PMMA, ABS	Teflon
Sehr gut geeignet	Geeignet	Weniger gut geeignet	Weniger gut geeignet
Liefert die beste Entformung, zeigt den stabilsten Prozess	Wirkung lässt im Vergleich zum Silikon früher nach	Bleibt als staubiger Film auf der Bauteiloberfläche zurück	Ist eher für Metallpaarungen gedacht

Die beste Entformung wird mit **Silikonöl** erzielt.

Wenn nachgelagerte Bearbeitungen der Bauteile, wie der Tampondruck, vorgesehen sind, kann zurückbleibendes Silikon diese Verfahren beeinträchtigen.

In solchen Fällen sind **silikonfreie Alternativen** zu bevorzugen, wobei in der Verarbeitung von PBT GF30 das silikonfreie Universal-Trennmittel vielversprechende Ergebnisse liefert.

**Tipp:** Durch Warmlagerung verbinden sich Tool und Silikon noch besser. Dazu das Tool großzügig mit Silikonöl einsprühen und bei 66 °C 16 bis 24 Stunden lagern!

Während des Spritzgussprozesses empfiehlt es sich, die Entformungshilfe regelmäßig aufzutragen – abhängig von Thermoplast und Trennmittel etwa nach jedem 5. bis 15. Zyklus.

Die hier durchgeführte Einordnung der Trennmittel ist als grober Trend zu betrachten. Um die Interaktion von Tool-Material, Trennmittel und Thermoplast final zu bestimmen, sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

*"Standardmäßig kommen Trennmittel im Spritzgießen selten zum Einsatz. Bei der Verwendung von gedruckten Tools könnten sie zum Standard werden. Additiv gefertigte Werkzeugeinsätze aus Photopolymeren sind kein Ersatz für konventionelle Werkzeuge, sondern eine Ergänzung: Sie eröffnen ein nie dagewesenes Potenzial zur schnellen Realisierung von Bauteilvarianten und deren Iterationen. Doch sie spielen eben auch nach ihren eigenen Regeln und erfordern eine andere Handhabung, als man es gewohnt ist."*

**Christian Deubel, Senior Engineer & Industriekoordinator Spritzgießen, SKZ**



## Durchführung des Spritzgießens

### Parameterfindung

Der Schlüssel zum erfolgreichen Spritzgießen mit additiv gefertigten Tools liegt in behutsamem und schrittweisem Vorgehen.

- **Massetemperatur:** Ist im Datenblatt des Thermoplasten ein Temperaturbereich für die Düse angegeben, ist zunächst die untere Grenze zu wählen.
- **Schließkraft:** Erfolgt das Schließen über die gedruckten Werkzeuge, so sollten diese langsam auf die Kraft vorbereitet werden. Erst drucklos schließen und dann in Schritten von 50 kN steigern.
- **Druck/ Füllung:** Bis zum Erreichen des Dosiervolumens sollten die ersten Schuss deutlich unterfüllt ohne Nachdruck gespritzt werden. Anschließend bietet sich durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Tools und dadurch gesteigerte Zykluszeiten ein abfallendes Nachdruckprofil an.
- **Kühlung:** Durch die reduzierte Wärmeleitfähigkeit benötigen die Tools Unterstützung beim Abkühlen. Eine zusätzliche Kühlung des geöffneten Werkzeugs zwischen den Zyklen kann daher von Vorteil sein.
- **Verweilzeit:** Die erhöhte Zykluszeit bedingt ein verlängertes Verweilen der Schmelze. Empfindliche Materialien sollten regelmäßig (ca. alle 10 bis 20 Schuss) gespült werden.

### Die Thermoplaste

Die Tools aus BASF Ultracur3D® RG 3280 werden in dieser Studie im Spritzgießen folgender Thermoplaste eingesetzt:



Bilder © DREIGEIST

	Masse- temperatur in °C	Werkzeug- temperatur in °C	Schließkraft* in kN	Einspritz- druck in Bar	Nachdruck** in Bar	Zykluszeit in s
PP GF30	220	30	300	530	120 / 190	138
ABS	230	30	300	600	130 / 200	160
PA6.6 GF25	290	90	300	670	70 / 130	90
POM	190	60	300	920	120 / 200	110
PC	290	60	300	830	130 / 200	169
PBT GF30	250	80	250	840	90 / 190	100

\*Die Höhe der Schließkraft ist davon abhängig, wie das Schließen umgesetzt wird. Hier erfolgt der Schluss über den gedruckten Einsatz und erfordert Vorsicht. Je nach Gestaltung kann der Schluss auch über die Stammform realisiert werden, wobei abweichende, höhere Kräfte zielführend sein können.

\*\*Nachdruck im abfallenden Profil, gestartet wird mit dem höheren Wert.

## Bewertung der Untersuchungen

### *Die Bedeutung der Schusszahl für 3D-gedruckte Werkzeugeinsätze*

Die Schusszahl und die damit verbundene Standzeit, also die Dauer, für die ein Spritzgusswerkzeug effektiv im Einsatz bleibt, sind zentrale Faktoren in der Spritzgussindustrie. Gemeinsam bestimmen sie die Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit des Werkzeugs.

Der 3D-Druck als Technologie bietet in diesem Kontext besondere Möglichkeiten. Obwohl in einigen Branchenkreisen skeptisch betrachtet, erlaubt der 3D-Druck schnelle Iterationen, komplexe Geometrien und personalisierte Produktion, ohne dass extrem hohe Schusszahlen erforderlich sind.

Unsere Tests konzentrieren sich auf die Untersuchung der Kompatibilität von 3D-gedruckten Spritzgusseinsätzen mit verschiedenen Materialien und nicht auf die Maximierung der Schusszahl. Trotzdem ermöglichen die beobachteten Zustände der Werkzeuge eine Abschätzung der möglichen Schusszahlen. Für exakte Daten sind zusätzliche Dauertests notwendig.

Die Untersuchung soll vor allem die technischen Möglichkeiten und Limitationen des 3D-Drucks bei der Herstellung von Spritzgusseinsätzen hervorheben und nicht als Ersatz für traditionelle Methoden mit hohen Schusszahlen dienen.



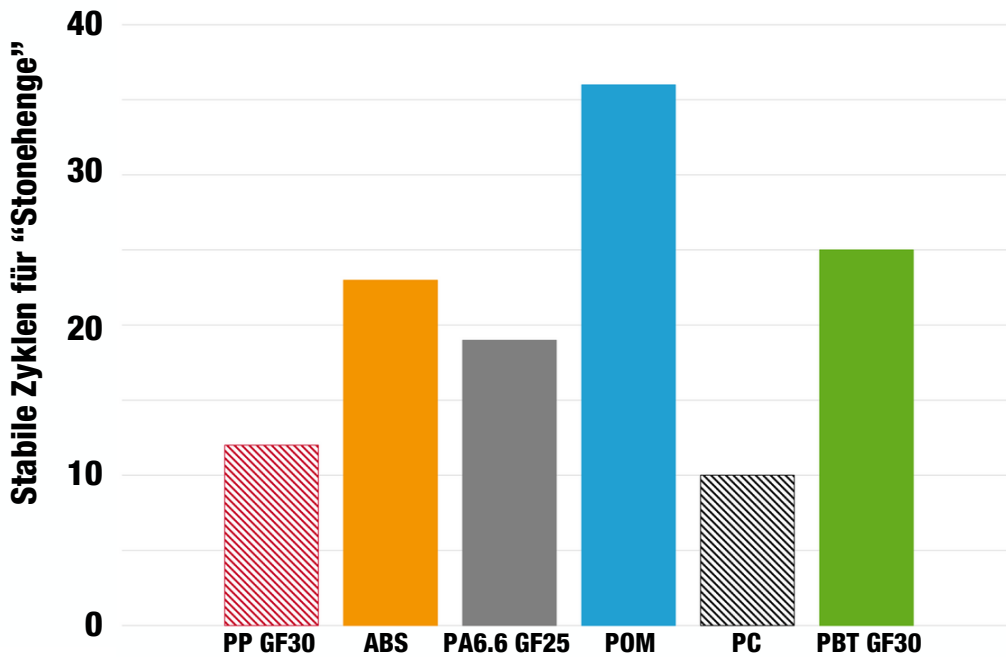
Schuss 1 (oben) und Schuss 37 (POM). Bilder © DREIGEIST

Es lässt sich festhalten, dass die Schusszahl bei der Bewertung von 3D-gedruckten Spritzgusseinsätzen eine Rolle spielt, jedoch nicht das alleinige Kriterium ist. Die Flexibilität und Schnelligkeit des 3D-Drucks erlauben eine effiziente Entwicklung und Anpassung von Werkzeugen, wobei die Schusszahl eher ein Faktor unter vielen ist, der im Gesamtkontext der Anwendung und den spezifischen Anforderungen betrachtet werden sollte.

**Bemerkenswert ist insgesamt die Schadenstoleranz des Tool-Materials.**

*Die Verarbeitbarkeit unterschiedlicher Thermoplaste*

Unterschiedliche Thermoplaste sind unterschiedlich anspruchsvoll in der Verarbeitung und greifen die Einsätze bzw. deren geometriebedingte Schwachstellen unterschiedlich stark an. Nachfolgend wird die Schusszahl ermittelt, über welche der Prozess mit ausgewählten Spritzguss-Materialien stabil ist, d. h. in der sich die Anzahl der Stonehenge-Features mit einem Wert  $\geq 25$  nicht ändert.



Die Anzahl stabiler Zyklen für verschiedene technisch relevante Thermoplaste. Bild © DREIGEIST

Die Gesamtzahl der durchgeführten Zyklen liegt für alle Thermoplaste zwischen 35 und 60, außer für PC und PP GF30. Diese werden nur stichprobenartig erfasst und sind damit nicht repräsentativ. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass das unpolare POM besonders kompatibel mit dem Tool-Material ist. Demgegenüber sind PBT GF30, ABS und schließlich PA6.6 GF25 in der Verarbeitung herausfordernder.

Zusammenfassend lassen sich die gewählten Kunststoffe bzgl. ihrer Ansprüche an die Toolgeometrie und ihrer Schwierigkeit in der Verarbeitung wie folgt einordnen:

	PP GF30	ABS	PA6.6 GF25	POM	PC	PBT GF30
Schwierigkeitslevel <small>(1 = eher leicht; 5 = eher schwierig)</small>	Tendenz niedriger	3	4	2	Tendenz höher	3

**FAZIT:** Alle analysierten Thermoplaste sind mit BASF Ultracur3D® RG 3280 im Spritzgießverfahren verarbeitbar, wobei sie variierende Ansprüche an Design und Prozessmanagement stellen!

### Zeit & Kosten: 3D-Druck

Angenommen ein Spritzgieß-Dienstleister möchte in den 3D-Druck einsteigen und in-house gefertigte Tools anbieten: was kostet ein solches Tool in der Eigenherstellung?

- Voraussetzungen:**
- Spritzgießanlage mit passendem Rahmen und Werkzeugrohling
  - 3D-Drucker, Belichtungseinheit und Temperofen;
- Maschinenkosten: Nutzungsdauer 3 Jahre im 1-Schichtbetrieb, inkl. Wartung, kalkulatorischen Zinsen, Platz- und Stromkosten

Fertigung "Stonehenge"	Drucker	UV-Belichtung	Tempern
Maschinenlaufzeit / h	1,5	0,75	6
Materialverbrauch RG 3280 / g	500		

**Herstellungskosten "Stonehenge":  
120,- EUR\***

\*zzgl. Personalaufwand und Betriebsmittelkosten

### Anwendungsbeispiel: Stoßstange für RC Cars



Stoßstangen aus PA (schwarz) und PP GF30 (orange) links, das dazugehörige Zweifach-Tool (rechts).  
Bilder © DREIGEIST

Die Bemusterung ist ein Anhaltspunkt für die Gestaltung eines Werkzeugeinsatzes für eine bestimmte Harz-Thermoplast-Paarung. Aus den Ergebnissen lässt sich z. B. herauslesen:

- Welche Entformungsschrägen gewählt werden sollten
- Welche Wandstärken eingehalten werden müssen
- Wie filigran die Elemente in der Kavität sein dürfen

Ein praxisnahes Beispiel, das die Robustheit von Bauteilen illustriert, die mit 3D-gedruckten Werkzeugen hergestellt wurden, ist eine Stoßstange für ferngesteuerte Autos (RC Cars)<sup>3</sup>. Dieses Beispiel verdeutlicht eindrücklich das Potential und die Möglichkeiten, die in der Kombination von Spritzguss und 3D-Druck-Technologie liegen.

# Zukunftsperspektiven und Schlussfolgerungen

## Rapid Tooling: Vorteile und Herausforderungen

Die Integration von 3D-Druck in den Spritzguss bietet die Möglichkeit, schnell zu iterieren, personalisierte Produktion zu ermöglichen und dabei möglicherweise Kosten zu sparen. Dies sind entscheidende Vorteile, besonders in der Prototypenentwicklung und für Kleinserien.

- **Prozesskette im 3D-Druck:** Während der DLP-Prozess durch seine hohe Präzision und Detailtreue überzeugt, ist die konsistente Einhaltung der gesamten Prozesskette von der Konstruktion bis zur Nachbearbeitung für die Qualität des 3D-gedruckten Werkzeugs unabdingbar. Zwar mag es eine Einarbeitungszeit und Lernkurve geben, aber mit sorgfältiger Anwendung und Beachtung der festgelegten Verfahren kann man erstklassige Ergebnisse erzielen.
- **Produktionszyklen:** Der Einsatz von 3D-gedruckten Spritzgusswerkzeugen ist besonders sinnvoll bei der Prototypenentwicklung, Kleinserien und spezialisierten Anwendungen, bei denen hohe Schusszahlen nicht erforderlich sind.
- **Flexibilität und Iteration:** Die Möglichkeit, Werkzeuge schnell zu ändern und zu iterieren, erhöht die Effizienz des Produktionsprozesses und kann Überproduktion und Ressourcenverschwendung minimieren.
- **Transport und Logistik:** Die Fähigkeit, 3D-Drucke vor Ort oder näher am Einsatzort durchzuführen, kann in einigen Kontexten Transportkosten und damit verbundene Emissionen verringern.
- **Geringere Herstellungskosten:** Die Kosten für die Herstellung von 3D-gedruckten Werkzeugen sind oft niedriger, was sie zu einer wirtschaftlichen Wahl in geeigneten Kontexten macht.
- **Spezifische Kundenanforderungen:** Für Unternehmen mit spezifischen Kundenanforderungen oder komplexen Geometrien bietet der 3D-Druck von Spritzgusseinsätzen eine zusätzliche Möglichkeit, sich an Marktbedürfnisse anzupassen.

## Für wen bietet Rapid Tooling Potenzial, und welche Herausforderungen gilt es zu meistern?

Für **Unternehmen**, die **Inhouse-Spritzguss** betreiben, sowie für zukunftsorientierte **Spritzgussunternehmen**, bietet die Technologie des Rapid Tooling ein substantielles Potenzial. Die Integration dieser Technologie erfordert eine strategische Herangehensweise, einschließlich Investitionen in Hardware und Schulungen, insbesondere im Umgang mit Photopolymer-Werkzeugen im Vergleich zu Stahlwerkzeugen. Diese Herausforderungen sollten jedoch nicht als Hindernis gesehen werden. Sie repräsentieren vielmehr die notwendigen Schritte auf dem Weg zur Implementierung einer innovativen Technologie, die das Unternehmen zukunftssicher positionieren kann.

Die bewusste Annahme dieser Herausforderungen und eine gezielte Planung ermöglichen es, nicht nur die anfänglichen Hürden zu überwinden, sondern auch entscheidende Wettbewerbsvorteile zu realisieren. Rapid Tooling steht dabei als Synonym für Effizienz, Flexibilität und Nachhaltigkeit in der Produktion. Es stellt eine strategische Investition dar, die langfristige Vorteile bietet und Unternehmen in die Lage versetzt, sich proaktiv an veränderte Marktbedingungen anzupassen.

Der 3D-Druck von Spritzgusswerkzeugen könnte zu einem integralen Bestandteil moderner Fertigungsprozesse werden, insbesondere in Szenarien, in denen Flexibilität, Schnelligkeit und technische Anpassungsfähigkeit erforderlich sind.

Durch strategische Integration und gezielte Investition in Rapid Tooling könnten Unternehmen nicht nur die Nachhaltigkeit verbessern, sondern auch einen erheblichen positiven Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der Industrie haben.

Es ist eine aufregende Perspektive, die denjenigen Vorteile bietet, die bereit sind, die Chancen zu erkennen und die Herausforderungen als Möglichkeiten zur Weiterentwicklung zu sehen.

# Autoren

## Christopher König

Technischer Geschäftsführer @ DREIGEIST

## Mareike König

Geschäftsführerin @ DREIGEIST

## Anne Richter

Technical Marketing Communications Manager @ DREIGEIST

# Fußnoten

**Zitierweise** - Bitte zitieren Sie dieses White Paper als: König, M., König, Ch., Richter, A. (2023). *3D-gedruckte Spritzgusseinsätze mittels DLP-Verfahren: Eine Fallstudie zu BASF Ultracur3D® RG 3280. BASF Forward AM.*

- 1 Brinkdöpke, Sascha. (2019). *Herausforderungen der Kunststoffindustrie*
- 2 Fastermann, Petra. (2016). *Nachhaltigkeit – 3D-Druck als umweltfreundliche Technologie?*. 10.1007/978-3-662-49866-8\_15.
- 3 Wevolver. Miley, Jessica. (2023). *Additive Manufacturing Delivers Durable Mold Parts for Quick Tool Production*.  
<https://www.wevolver.com/article/additive-manufacturing-delivers-durable-mold-parts-for-quick-tool-production>

# Kontakt

## **BASF 3D Printing Solutions GmbH**

Speyerer Straße 4, 69115 Heidelberg  
Germany

Website: [www.forward-am.com](http://www.forward-am.com)

Email: [sales@basf-3dps.com](mailto:sales@basf-3dps.com)

## **DREIGEIST Additive Intelligence oHG**

Nordostpark 89, 90411 Nürnberg  
Germany

Website: [www.dreigeist.com](http://www.dreigeist.com)

Email: [info@dreigeist.com](mailto:info@dreigeist.com)

## **SKZ - KFE gGmbH**

Friedrich-Bergius-Ring 22, 97076 Würzburg  
Germany

Website: [www.skz.de](http://www.skz.de)

Email: [info@skz.de](mailto:info@skz.de)

© Copyright 2023 BASF 3D Printing Solutions GmbH. Alle Rechte vorbehalten. Die hierin enthaltenen Informationen dienen ausschließlich zu Informationszwecken. BASF 3D Printing Solutions haftet nicht für technische oder redaktionelle Fehler oder Auslassungen in diesem Dokument. Produktspezifikationen und alle hierin enthaltenen Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

Die Angaben in dieser Publikation basieren auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. In Anbetracht der vielen Faktoren, die die Verarbeitung und Anwendung unseres Produktes beeinflussen können entbinden die Angaben den Verarbeiter nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen und bedeuten keine Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder die Eignung des Produktes für einen bestimmten Zweck. Die hierin enthaltenen Beschreibungen, Zeichnungen, Fotografien, Daten, Proportionen, Gewichte etc. können sich ohne vorherige Information ändern und stellen nicht die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit des Produkts dar. Es liegt in der Verantwortung des Empfängers unserer Produkte, sicherzustellen, dass etwaige Eigentumsrechte und bestehende Gesetze und Vorschriften beachtet werden.