

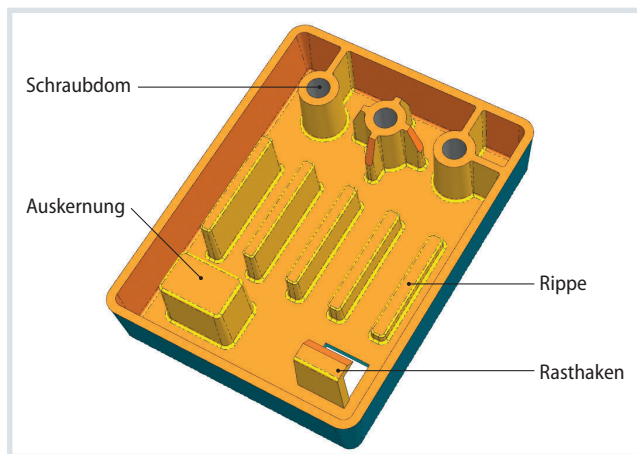
3D-gedruckte Formeinsätze ermöglichen eine individuelle Spritzgießfertigung

Spritzgießen in kleinen Stückzahlen

Die Spritzgießfertigung ist traditionell durch hohe Stückzahlen und Werkzeugkosten charakterisiert. Mit additiv gefertigten Formeinsätzen können jedoch auch individualisierte Spritzgussteile oder Kleinserien schnell und kostengünstig hergestellt werden. Ausgangspunkt hierfür sind neuste Materialentwicklungen im Bereich der Photopolymere, die die Temperaturbeständigkeit und Standfestigkeit additiv gefertigter Bauteile stetig verbessern und somit eine Anwendung im Werkzeugbau ermöglichen.

Bild 1. Aufbau des Spritzgussteils mit einer Entformungsschräge von 2°.

© Hochschule Coburg



lich sein. Ein Lösungsansatz kann die Verwendung von Formeinsätzen oder partiellen Formeinsätzen sein. Hier bietet die additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM) auf Kunstharzbasis eine schnelle und wirtschaftlich interessante Alternative. Zwar weisen AM-Formeinsätze deutlich geringere Standzeiten als metallische Einsätze auf, dafür können sie durch niedrigere Fertigungskosten sowie eine höhere Flexibilität und Designfreiheit punkten. Im Folgenden wird die prinzipielle Eignung ausgewählter Kunstharze untersucht.

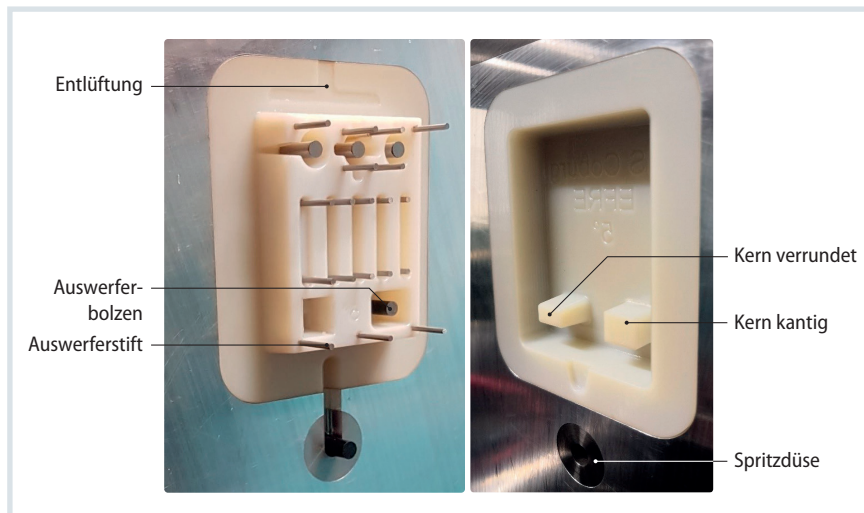


Bild 2. Zweiteiliger Formeinsatz aus Digital ABS Plus Ivory mit Auswerferseite in Entformungsposition links und Düsenseite rechts. © Hochschule Coburg

Die hohen Kosten für konventionelle Spritzgießwerkzeuge sind der Grund dafür, dass sich die Fertigung von Spritzgusserzeugnissen oftmals nur für mittlere und große Serien rechnet. Lediglich über die Stückzahl gelingt es,

diese Kosten zu relativieren. Jede Änderung an einem bestehenden Spritzgussteil muss aufwendig am Werkzeug nachgearbeitet werden oder verlangt die Herstellung eines neuen Werkzeugs – dies kann für Kleinserien nicht wirtschaft-

Schaumspritzgießen verlängert Standzeit der Formeinsätze

Die Anwendung additiv gefertigter Formeinsätze aus Photopolymeren wird seit längerem erprobt [1–3]. Ihr größtes Potenzial wird vor allem in der schnellen und kostengünstigen Fertigung von Prototypenwerkzeugen gesehen, was die Entwicklung neuer Spritzgießwerkzeuge erheblich verkürzt. So ist es mit dem additiven Fertigungsverfahren Digital Light Processing (DLP) möglich, Änderungsschleifen neuer Werkzeuge innerhalb eines Tages abzusichern [2]. Aktuell wird deren Anwendung in Verbindung mit dem Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) untersucht [3]. Das TSG-Verfahren bietet sich vor allem wegen des geringeren Werkzeugendrucks an, weil die Standzeit der Formeinsätze aus Kunststoff bei hohen Druckbelastungen geringer ist.

Bei einer Untersuchung an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg wurden mit drei Photopolyme-



Bild 3. 50stes Spritzgussteil aus dem Formein-satz Digital ABS Plus Ivory mit Grat an der Bauteilaußengeometrie. © Hochschule Coburg

ren Formeinsätze für ein Spritzgießwerk-zeug additiv hergestellt und mit 50 Schuss belastet. Die Veränderungen an den Formeinsätzen und Spritzgussteilen wurden anschließend bewertet. Das Versuchsbauteil enthält dabei für Spritz-gussteile typische Geometrien, die eine praxisnahe Anwendung demonstrieren (**Bild 1**). Die Auskernung sowie die Rippen des Spritzlings sind verrundet, der Rast-haken hingegen nicht. Dadurch ist eine gleichzeitige, grundsätzliche Überprü-fung der Kerbempfindlichkeit möglich. Das Bauteil besitzt zudem eine Entfor-mungsschräge von 2°.

Werkzeugfertigung im PJM- und SLA-Verfahren

Für die Herstellung der Formeinsätze (**Bild 2**) kamen zwei additive Fertigungs-verfahren zur Anwendung, das PolyJet

Modeling (PJM) und die Stereolithogra- phie (SLA). Diese kunstharzbasierten Verfahren eignen sich für diese Anwen-dung vor allem aufgrund der hohen Auflösung sowie der hohen Oberflä- chengüte. Die Materialien Digital ABS Plus Ivory (für PJM, Hersteller: Stratasys), Somos Taurus und Somos PerForm Reflect (jeweils für SLA, Hersteller: DSM) weisen laut Datenblatt besonders geeig- nete thermisch-mechanische Eigen- schaften auf (**Tabelle 1**). Auffällig im Ver- gleich mit den anderen beiden Materia- lien ist hier die bedeutend höhere Form- beständigkeitstemperatur und Zugfes- tigkeit von Somos PerForm Reflect. Dafür ist dessen Bruchdehnung sehr gering; deutlich duktiler sind Digital ABS Plus Ivory und Somos Taurus.

Je 50 Schuss auf drei Werkzeugeinsätze

Die Formeinsätze, die auf der Rückseite um jeweils 0,25 mm erhöht wurden, um ein sicheres Abdichten zu gewährleisten, werden auf einer Spritzgießmaschine (Typ: ergotech 25/280-120 system; Her- steller: Sumitomo (SHI) Demag) mit 250 kN Schließkraft untersucht. Für die Aufnahme der Formeinsätze in die Maschine dient eine Wechselform (Typ: FW-Wechsel- form; Hersteller: Meusburger). Die Bauteil- entformung erfolgt über mehrere Aus- werferstifte.

Mit jedem der drei Formeinsatzmate- rialien wird eine Versuchsreihe mit einem Polyethylen (PE-HD, Typ: Hostalen ACP 6541A UV; Hersteller: Lyondellbasell) durchgeführt. Die Einsätze werden nach jedem Schuss mit Druckluft auf die Oberflächentemperatur von 50°C ge- kühlt. Zudem wird zu Beginn und nach jedem zehnten Schuss ein silikonfreies Formtrennmittel aufgetragen, was die Entformung der Bauteile begüns- »

	Digital ABS Plus Ivory	Somos Taurus	Somos PerForm Reflect
Formbeständigkeitstemperatur bei 4,6 bar [°C]	82–90	91	276
Kerbschlagzähigkeit [J/m]	90–115	35,8	20
Zugfestigkeit [N/mm ²]	55–60	49	72,4
Zug-Elastizitäts-Modul [N/mm ²]	2600–3000	2206	9653
Bruchdehnung [%]	25–40	17	0,96

Tabelle 1. Übersicht über die mecha- nisch-thermischen Materialdaten der drei verwendeten Photopolymere.

Quelle: Stratasys, Royal DSM
[4–6]

Info

Autoren

B. Eng. Daniel Kubat war von 2018 bis 2021 Mitarbeiter im Projekt „Roadmap: flexPro“ und ist aktuell wissenschaftlicher Mitarbeiter im ESF-Projekt „PAF“ an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg.

Christian Jäckel studiert Maschinenbau an der Hochschule Coburg und ist seit 2021 als Werkstudent bei der Headmade Materials GmbH, Unterpleichfeld, tätig.

B. Eng. Andreas Graf ist Masterstudent im Studiengang „Entwicklung und Manage- ment im Maschinen- und Automobilbau“ an der Hochschule Coburg.

M. Eng. Dimitri Mehlmeister ist Berech- nungsingenieur bei der KAE GmbH, Hausen.

Prof. Dr. Alexander Rost leitet an der Hochschule Coburg das Labor für Kunst- stoffverarbeitung. Seit 2015 ist er zudem Vorstand des Technologietransfercenters Automotive der Hochschule Coburg für das Ressort Werkstoffe.

Prof. Dr.-Ing. Markus Stark ist Professor für Konstruktion, innovative Produktent- wicklung und additive Fertigung an der Hochschule Coburg. Seit 2013 leitet er zu- sätzlich das Institut für Prototypen- und Modelltechnik; Markus.Stark@hs-coburg.de

B. Eng. Marcel Trier ist als Laboringenieur der Hochschule Coburg tätig.

Dank

Die Ergebnisse dieser Veröffentlichung wurden teilweise im EFRE-Projekt „Road- map: flexPro“ erzeugt. Dieses Vorhaben wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und durch das Bayerische Staatsministeri- um für Wissenschaft und Kunst gefördert. Der Dank der Autoren gilt ferner der Cut- works GmbH, die die gelaserten Metalllein- leger kostenlos bereitgestellt hat.

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

www.kunststoffe.de/onlinearchiv

Bild 4. Ergebnis der optischen Vermessung des Somos-Taurus-Formeinsatzes nach dem 50sten Spritzzyklus mittels 3D-Scanning. In der Trennebene sind deutliche Verformungen zu erkennen, die zur Gratbildung am Spritzgussteil führen.

© Hochschule Coburg

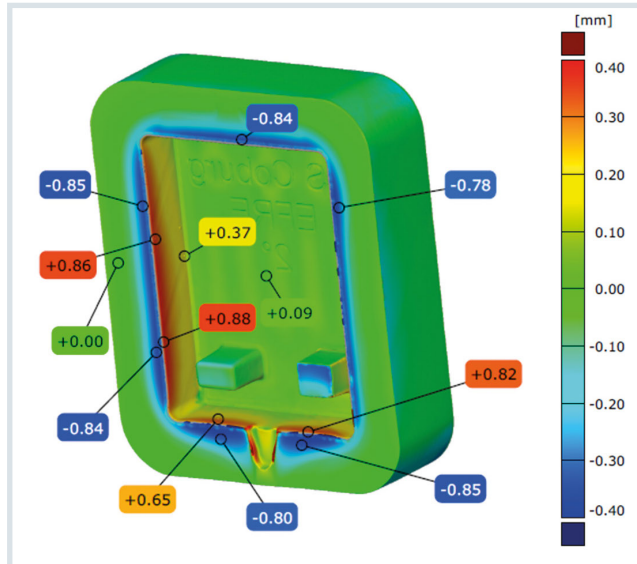
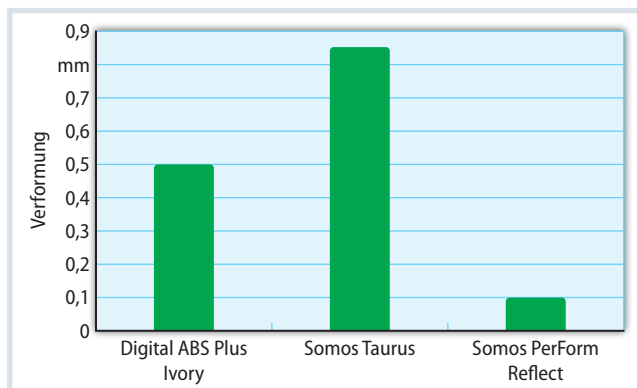


Bild 5. Vergleich der jeweils maximalen Deformation der Formeinsätze nach dem 50sten Spritzzyklus anhand der optischen Vermessung.

Quelle: © Hochschule Coburg; Grafik: © Hanser



tigt. Eine Füllstudie im Vorfeld dieser Arbeit lieferte die Prozessparameter für die Versuche (**Tabelle 2**).

Empfehlung: verrundete Kanten

In der Versuchsreihe mit den Formeinsätzen aus Digital ABS Plus Ivory konnte ab dem zwölften Spritzgussteil eine stetig steigende Gratbildung an der Außen-geometrie beobachtet werden (**Bild 3**). Ab Schuss 28 entstand zudem ein Riss im Bereich des scharfkantigen Kerns der Rasthakengeometrie am düsenseitigen Einsatz. Nach Schuss 34 zeigte der verrundete Kern sichtbare Verformungen.

Eine kontinuierlich steigende Gratbildung am Bauteil wurde in der Versuchsreihe mit den Somos-Taurus-Formeinsätzen bereits ab dem ersten Schuss festgestellt. Ab dem zweiten Schuss ließ sich zudem eine kleinere Rissbildung am Formeinsatz, jedoch ohne merklichen Einfluss auf die Bauteilqualität, konstatieren. Ab Schuss 35 kam es zu Ausbrüchen am Rasthakenkern. Am Ende der Ver-

suchsreihe wiesen die Formeinsatzhälften sowie die Spritzgussteile deutliche Verformungen auf.

Beim Formeinsatz aus Somos PerForm Reflect war über die gesamte Versuchsreihe keine Gratbildung an den Bauteilen zu beobachten. Nach Schuss 1 und 35 konnten lediglich zwei optisch kaum wahrnehmbare Risse an beiden

Formhälften festgestellt werden. Diese blieben jedoch konstant und beeinträchtigten die Spritzgussteile nicht.

Insgesamt konnten bei allen Materialien mehr oder weniger starke Risse, ausgehend von scharfen Kanten, festgestellt werden. Aus diesem Grund sollten alle Geometrien an den Formeinsätzen ausreichend verrundet sein, sodass die Kerbwirkung reduziert wird.

Deutliche Unterschiede in Verformung und Gratbildung

Um die Eignung der drei Formmaterialien bewerten zu können, wurde die maximale Gratdicke näher betrachtet. Diese wurde für jedes Bauteil vermessen und nach dem 50sten Schuss mit den anderen Werten verglichen. Bei den Einsätzen aus Somos PerForm Reflect war jedoch keine Gratbildung an den Bauteilen zu erkennen. Die mit den Einsätzen aus Digital ABS Plus Ivory und Somos Taurus erzeugten Bauteile wiesen einen 0,45 mm dicken Trenngrat auf. Die Deformation der Formeinsätze ließ sich zudem über die optische Vermessung vor und nach den Versuchsreihen mit einem 3D-Scanner (Typ: Atos III Rev.02.1, Hersteller: GOM GmbH) abbilden (**Bild 4**).

Aufgrund der hohen Druckbelastungen beim Spritzgießprozess gelangt Schmelze zwischen die Trennflächen der Einsätze, wodurch es zu einer Gratbildung am Spritzling kommt. Durch die erhöhte Flächenpressung im Trennbereich entsteht eine irreversible Verformung der Einsätze, was sich gerade bei den duktileren Materialien ABS Plus Ivory und Somos Taurus verstärkt widerspiegelt (**Bild 5**).

Schmelzeaufbereitung	Staudruck [bar]	10
	Schneckendrehzahl [mm/s]	200
	Dosierverzögerung [s]	0
	Dosierhub [cm ³]	20
	Schmelzetemperatur [°C]	185
Spritzprofil	Kühlzeit [s]	250
	Schließkraft [kN]	250
	Volumetrischer Umschaltzeitpunkt [cm ³]	6,55
Nachdruckprofil	Einspritzgeschwindigkeit [mm/s]	55
	Nachdruck [bar]	35
	Nachdruckzeit [s]	5
	Nachdruckprofil	linear abfallend auf 0

Tabelle 2. Prozessparameter der Spritzgießversuche, die mit den drei Formeinsätzen durchgeführt wurden. Quelle: Hochschule Coburg

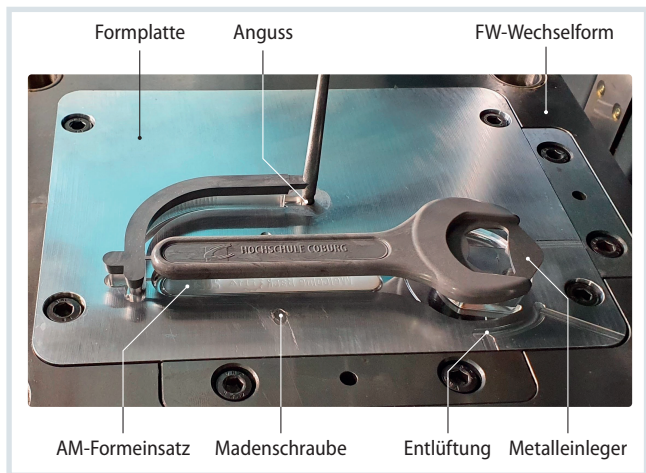


Bild 6. Hybrider Werkzeugaufbau des individualisierbaren gespritzten Flaschenöffners in Maultschlüsselform.

© Hochschule Coburg

Insgesamt ist Somos PerForm Reflect bei dieser Anwendung und dem gewählten Vorgehen das vielversprechendste Material. Es wies selbst nach dem 50sten Zyklus kaum Verformungen und keinerlei Gratbildung am Bauteil auf. Mit dem Material sind daher auch höhere Stückzahlen denkbar. Digital ABS Plus Ivory und Somos Taurus zeigten hingegen deutliche Verformungen und Gratbildungen. Es ist davon auszugehen, dass für diese Materialien die Versuchsparameter nicht optimal gewählt waren.

Individualisierung spritzgegossener Massenartikel

Spritzgegossene Prototypen oder Kleinserien mit 3D-gedruckten Formeinsätzen herzustellen ist ebenso eine mögliche Anwendung der untersuchten Materialien wie die Individualisierung spritzgegossener Massenartikel. Daher wurde anhand eines gespritzten individualisierten Flaschenöffners die Anwendung eines partiellen AM-Formeinsatzes mit einem hybriden Werkzeugaufbau untersucht (Bild 6). Da es sich um ein Versuchswerkzeug handelt, wurden die Formplatten aus hochfestem Aluminium gefertigt, die Fräsarbeiten erfolgten auf einem 5-Achs-Bearbeitungszentrum (Typ: DMU 50; Hersteller: DMG Mori).

Für die partiellen Formeinsätze aus Digital ABS Plus Ivory ist eine entsprechende Tasche im Werkzeug enthalten, in der die Formeinsätze eingesteckt und über Madenschrauben gesichert werden. Der Austausch wird über zwei abgesetzte Auswerferstifte (hinter dem Einsatz) bei maximalem Auswerferhub

realisiert. Dies ermöglicht einen einfachen und schnellen Wechsel.

Das für die Herstellung der Spritzgussteile verwendete ABS-Blend (Typ: Terluran GP-22-ABS; Hersteller: Ineos Styrolution) wird mit einem chemischen Treibmittel (Typ: Tracel IM 2220; Hersteller: Tramaco) versetzt, um die bereits erwähnten Vorteile des TSG-Verfahrens zu nutzen. Dadurch lässt sich vor allem der Werkzeuginnendruck deutlich reduzieren, was wiederum die Standzeit der AM-Formeinsätze erhöht. In den Versuchen hat sich gezeigt, dass der Flaschenöffner sauber gefüllt und in einer hohen Qualität abgebildet wurde (Bild 6). Bei den Schriftzügen zeigt sich allerdings eine Trennkante zwischen partiellem Formeinsatz und Wechselwerkzeug, was einen Ansatzpunkt für weitere Optimierungen darstellt.

Fazit

Die Versuche haben gezeigt, dass gerade für die 3D-gedruckten Einsätze aus Somos PerForm Reflect großes Anwendungspotenzial besteht. Hier konnten selbst nach 50 gefertigten Spritzgussteilen keine Grate an den Bauteilen festgestellt werden. Auch die Verformung der Einsätze war minimal. So könnten diese möglicherweise auch für eine Kleinserienfertigung in Betracht gezogen werden. Zudem wurde die Anwendung auf Basis eines hybriden Werkzeugaufbaus unter Einsatz partieller AM-Formeinsätze untersucht. Durch eine entsprechende Gestaltung von Werkzeug und Einsatz ist ein einfacher und schneller Tausch der Formeinsätze sowie eine Individualisierung spritzgegossener Massenartikel möglich. ■

Eine solide Grundlage



ISBN 978-3-446-46292-2 | € 129,99



ISBN 978-3-446-45801-7 | € 49,99



ISBN 978-3-446-46752-1 | € 39,99