

# Rapid Tooling mit Stereolithographie

## Ein wichtiger Schritt in Richtung Rapid Manufacturing

Montgomery, Eva; DSM Somos®, Elgin Illinois

© 2005 Eva Montgomery; Lizenznehmer RTEjournal, weitere Informationen sind zu finden unter:

<http://www.dipp.nrw.de/service/dppl/>

urn:nbn:de:0009-2-3574

---

### Zusammenfassung

*Vor etwa drei Jahren wurden Komposit-Kunstharze für die Stereolithographie (SL) auf dem Markt eingeführt. Sie bieten Leistungsmerkmale, die jenseits dessen liegen, was traditionelle SL-Kunstharze auszeichnet. Insbesondere die hohe Wärmeformbeständigkeit (>250°C) und hohe Steifigkeit dieser Komposit-Kunstharze haben verschiedenen neuen Rapid-Prototyping(RP)-Anwendungen den Weg bereitet. Dazu zählen auch Windkanaltests und seit kurzem Rapid Tooling. Während sich aus den traditionellen SL-Kunstharzen in der Vergangenheit keine Formteile bauen ließen, deren Lebenszyklus den Aufwand rechtfertigte, zeigt der kommerzielle Erfolg neuer Somos® ProtoComposites™ Werkstoffe wie ProtoTool™ 20L und NanoForm™ das Potential an Zeit- und Kostenersparnis. In Rapid-Tooling-Anwendungen ließen sich aus diesen Kunstharzen Formen herstellen, die es ermöglichten erfolgreich Hunderte von Spritzgießteilen zu fertigen. Dazu wurden Kunststoffe eingesetzt wie ABS, Polypropylen, Polyäthylen, Polykarbonat, Thermoplast-Elastomere und 33 Prozent glasgefülltes Nylon. Je nach Geometrie des Bauteils kann der Einsatz dieser Komposit-Formen eine Zeitersparnis bringen, die sich mit maschinell gefertigten Metallbauteilen vergleichen lässt. Das wird beispielsweise durch eine Fallstudie von Paramount Industries belegt, die in dem Beitrag zitiert wird. Da die Erfahrungswerte mit dem Einsatz dieser Verfahren zunehmen, führen Komposit-Formen auch zu Kostenersparnis.*

*Um dieses Wissen weiterzugeben und um einige der vielen auftauchenden Fragen in Bezug auf die Größe der SL-Komposit-Formen, der geometrischen Beschränkungen, der Lebensdauer und Maßhaltigkeit von Formen zu beantworten, haben Schlüsselfiguren der Rapid Prototyping- und Rapid-Tooling-Industrie aus den USA dank der Initiative von DSM Somos eine Arbeitsgruppe gebildet. Die Arbeitsgruppe hat die erste Phase einer kontrollierten Untersuchung abgeschlossen, mit dem Ziel, die Zuverlässigkeit der neuen Technologie besser einschätzen zu können. Über die ersten Ergebnisse dieser Untersuchung wird auch berichtet.*

## Abstract

*Approximately three years ago, composite stereolithography (SL) resins were introduced to the marketplace, offering performance features beyond what traditional SL resins could offer. In particular, the high heat deflection temperatures (>250°C) and high stiffness of these highly filled resins have opened the door to several new rapid prototyping (RP) applications, including wind tunnel test modelling and, more recently, rapid tooling. While traditional SL resins of the past couldn't offer the mould life necessary for the effort, the commercial successes of new Somos® ProtoComposites™ materials such as ProtoTool™ 20L and NanoForm™ are demonstrating new potential for time and cost savings.*

*In rapid tooling applications, molds made from these resins have been able to successfully produce hundreds of injection molded parts at a time from such plastic materials as ABS, polypropylene, polyethylene, polycarbonate, thermoplastic elastomer and 33 percent glass-filled nylon. Depending upon part geometry, the use of these composite molds can provide time savings compared to machined metal molds as evidenced by the Paramount Industries case study described in the paper. As more handling experience is gained, composite molds can also provide cost savings.*

*To address the learning curve and to begin answering the many questions regarding SL composite tool size and geometry limitations, tool life expectancy and dimensional stability, key players in the rapid prototyping and rapid tooling industries from the United States formed a working group initiated by DSM Somos. The working group completed the first phase of their controlled study to better assess the technology for its reliability, initial Phase 1 findings are reported in the paper.*

## Hintergrund

Das Konzept, Stereolithographie (SL) für Rapid Tooling für den Spritzguß einzusetzen, ist nicht neu. Anfänglich erwiesen sich diese Versuche im Werkzeugbau meist als erfolglos, so dass sich innerhalb der Rapid-Prototyping- und Tooling-Industrie eine große Zurückhaltung breit machte, sich überhaupt mit dem Einsatz von SL-Verfahren für Rapid-Tooling-Anwendungen zu befassen.

Die Gründe für die anfänglichen Schwierigkeiten sind vielfältig. DSM Somos nennt die wichtigsten:

- Es fehlte an Werkstoffen mit ausreichender Festigkeit, Wärmebeständigkeit, Zugmodul und Maßhaltigkeit.
- Es lagen nur unzureichende Kenntnisse vor, wie das Design von Formen modifiziert werden muss, um den spezifischen Anforderungen der SL-Technologie zu genügen.
- Es fehlte an Erfahrungen mit dem Einsatz von Formen aus Komposit-Werkstoffen statt Legierungen bei Spritzguß-Verfahren.

Die grundlegende Marktstrategie von DSM Somos setzt auf Wachstum durch Entwicklung neuer SL-Anwendungen. Deshalb waren wir nicht bereit, vor diesen Herausforderungen rasch zu kapitulieren. Vielmehr waren wir überzeugt, dass die Präzision und Schnelligkeit, die die SL-Technologie auszeichnet, verbunden mit der zielgerichteten Entwicklung neuer Werkstoffe und der Erschließung neuer Anwendungsbereiche zum Erfolg führen können. Unser Ansatz beruht auf vier Säulen:

- Rapid-Tooling-Werkstoffe entwickeln und optimieren.
- Partner in der Industrie bei Tooling-Projekten bis zur Marktreife unterstützen.
- Eine Rapid-Tooling-Arbeitsgruppe sponsern, in die Experten aus der gesamten Entwicklungs- und Herstellungskette eingebunden sind.
- Akademische Forschungsvorhaben unterstützen.

## Werkstoff-Entwicklung

In den vergangenen vier Jahren hat DSM Somos zwei SL-Werkstoffe zur Marktreife gebracht, die schrittweise Neuerungen auf dem Gebiet der Standard-Epoxid-SL-Werkstoffe brachten.

- ProtoTool™ 20L
- NanoForm™ 15120

Beide basieren auf der Komposit-Technologie, die bis zur Einführung von ProtoTool™ 2002 in der Stereolithographie nicht verwendet worden war. Die Kombination eines hochleistungsfähigen Kunstharzes mit einer Verstärkung durch nicht-krystallines Quarz ergibt ein Komposit-Material, das sich dank seiner herausragenden Eigenschaften für den Einsatz in Spritzgußformen empfiehlt und gleichzeitig eine sichere Herstellung von Teilen ermöglicht. Diese Eigenschaften schließen hohe Festigkeit, Zugmodul, Wärmebeständigkeit ein sowie eine präzise Abformung und exzellente Maßhaltigkeit im Vergleich zu einfachen SL-Kunstharzen (Tabelle 1).

Eigenschaft	Typisches homogenes SL Material (UV N'härtung)	NanoForm™ 15120 (UV + thermische N'härtung)	ProtoTool™ 20L (UV N'härtung)
Zugfestigkeit, MPa	41-55	53	72-79
Zugmodul, MPa	690-3100	5900	10,100-11,200
Bruchdehnung (%)	4-30	1.2	1.2-1.3
Zugmodul, MPa	41-103	129	118-123
Biegemodul, MPa	690-3450	4450	9240-9600
Druckfestigkeit Mpa	N/A	234	153
Druckmodul Mpa	N/A	4680	10,130
Tg, °C		80	49
Wärmeformbeständigkeit °C @ 0.46MPa @ 1.81Mpa		269 115	257-259 83-94
KtA (100-150°C), µm/m-°C	170-190	129	81-91
Wasserabsorbtion, (%)	1.0-1.25	0.26	0.24-0.30

*Tabelle 1: Physikalische und mechanische Materialeigenschaften von NanoForm™ 15120, ProtoTool™ 20L und homogene SL-Kunstharzen.*

Der Tabelle kann entnommen werden, dass die Unterschiede der Materialeigenschaften signifikant sind. Die höheren Werte bei Festigkeit und , die sowohl NanoForm™ wie auch ProtoTool™ aufweisen, ermöglichen es, aus diesen Kunstharzen Formen herzustellen, die einem hohen Einspritzdruck (>5ksi) standhalten. Verhalten unter Druck wird bei unverstärkten Kunstharzen normalerweise nicht gemessen, doch die hohen Werte bei Druckfestigkeit und Zugmodul, die ProtoTool™ 20L und NanoForm™ 15120 auszeichnen, ermöglichen es, aus diesen Werkstoffen Formen herzustellen, die dem Spannungsdruck einer Spritzguß-Anlage standhalten. Darüber hinaus bieten die hohen Wärmeformbeständigkeit und der geringe Wärmedehnungs-Koeffizient der Komposit-Kunstharze von DSM Somos die Sicherheit, dass die Formen nicht deformieren oder maßungenau werden, solange die Spritzguß-Temperaturen die der gängigen Thermoplaste nicht überschreiten.

Während der vergangenen zwei Jahre wurden Formen aus diesen Werkstoffen verwendet, um eine Serie von marktreifen Spritzgußformteilen herzustellen. Dabei wurden sowohl in Europa wie in den USA eine Reihe von Werkstoffen eingesetzt, die von Polypropylen bis zu glasgefülltem Nylon reichen. Die Anzahl der hergestellten Formteile variierte von einigen wenigen bis zu mehreren tausend, abhängig von den Anforderungen jedes einzelnen Projektes.

Dieser Beitrag stellt die Forschungsarbeit und die Ergebnisse zweier Arbeitsgruppen vor, die während des vergangenen Jahres die kommerzielle Verwendung von Stereolithographie und SL-Kompositen im Bereich des Rapid Tooling untersucht haben. Es handelt sich um die Forschungsergebnisse 1. eines kommerziell arbeitenden Designbüros und 2. einer Arbeitsgruppe der Industrie. Die Ergebnisse brachten den Beweis, dass Rapid Tooling dank der SL-Technologie eine gangbare und kosteneffektive Alternative zum CNC-Machining für Kleinserien darstellt.

## Erfahrungen mit der kommerziellen Anwendung: Paramount Industries

Paramount Industries ist ein Design und Produktenwicklungsbüro mit Sitz in Pennsylvania, USA, das die ganze Bandbreite der Dienstleistungen in der Produktentwicklung abdeckt. Zu seinen Kunden zählen Firmen aus der Konsumgüterindustrie und der Medizintechnik. Wie die meisten Design- und Produktentwicklungsbüros setzt Paramount Hochgeschwindigkeits(HS)-CNC-Machining-Verfahren als Rapid-Tooling-Standard ein, obwohl in den vergangenen 30 Jahren mit anderen Rapid-Tooling-Verfahren experimentiert wurde, wie Epoxid-Komposit-Gießen, Aluminium-Gießen, S7-Gießen, Metallspritzverfahren, Beryllium-Gießen, KelTool, und SLS RapidSteel™. Dennoch hatte sich laut Paramount keines dieser Verfahren als so nützlich und verlässlich erwiesen wie CNC-Machining.

Als SL-Anwender und Spritzguß-Experten zunächst mit dem Rapid Tooling experimentierten (einige Jahre vor der Einführung von ProtoTool™ 20L), war Paramount Industries nicht daran interessiert, ein weiteres RT-Verfahren zu erproben, bis DSM Somos das Potential von ProtoTool™ 20 L präsentierte. Zukunftsweisende Materialeigenschaften wie eine Wärmeformbeständigkeit von 258 C, gekoppelt mit einer verlässlichen Präzisionsanlage (dank der Einführung der Viper-Anlage von 3D System), überzeugten Paramount, einen ersten Blick auf den neuen Werkstoff zu werfen. Man glaubte, falls sich SL-ProtoTool™ als erfolgreich erweisen würde, das Verfahren dazu verwenden zu können, Formteile zu fertigen, deren technische Qualität bei etwa 75% der von Kunstharzen liegt. Wobei mögliche Ausnahmen Polyäther, Polysulfon und ähnliche Kunstharz-Klassen darstellen, die eine Verarbeitungstemperatur von über 310°C aufweisen.

Paramount hatte klare Unternehmensziele: präzise gefertigte Formteile, die innerhalb einer Woche nach Eingang der ersten Entwürfe fertiggestellt sein sollten, und zwar zu weitaus geringeren Kosten als maschinell hergestellte Metallwerkzeuge.

Die erste Gelegenheit, die neue Herangehensweise im Rapid Tooling zu erproben, eröffnete ein Projekt im Auftrag von Ingersoll Rand. Paramount hatte mehr als ein Jahr lang mit einem Produktentwicklungsteam an einer neuen Produktlinie von handgeführten

Hochgeschwindigkeits-Schleifmaschinen experimentiert. Die neuen Schleifmaschinen wurden gefertigt, um kostengünstigere Spritzgieß-Thermoplast-Komponenten zu verwenden anstatt der maschinell verarbeiteten Metallteile.

Das Kunstharz das überwiegend zum Einsatz kam, war ein Typ 6 Nylon mit einer 33% Glasfüllung (BASF Capron 8333G-HI). Dieser Werkstoff wird typischerweise eingesetzt, wo hohe Strapazierfähigkeit, besonders in industriellen Anwendungen, gefragt ist. Der empfohlene Einspritzdruck für diese spezielle Sorte Capron ist relativ gering: 0.5 ksi – 1.8 ksi mit einer Verarbeitungstemperatur von 270 bis 291°C und einer Einspritztemperatur zwischen 94 und 105°C.

Das Produktionswerkzeug stand fast vor dem Abschluss und die ersten Artikel wurden von Ingersoll's chinesischem Lieferanten geliefert, als erste Fehler entdeckt wurden. Die Oberflächengeometrie der Bauteile war von den CAD-Daten falsch interpretiert worden und auf die Innenseite des Gehäusekörpers übersetzt worden. Die Forderung, den Gehäusekörper zu korrigieren, hätte das Team vier bis fünf Wochen im Zeitplan zurückgeworfen. Die Ingersoll-Rand-Ingenieure dachten, es sei möglich, einen inneren Teil, genannt „Käfig“, zu modifizieren, um den Fehler zu beheben. Aber diese Theorie musste geprüft werden. Darin lag das Dilemma:

- Ein neues Formteil musste gefertigt werden, doch der Einsatz eines anderen Stoffes als Capron war nicht möglich, da Motorgeschwindigkeiten von 30.000 rpm und beschleunigte Luftgeschwindigkeiten, die bei den Bauteilen zu erhöhten Temperaturen führen können, SL-Werkstoffe genauso ausschlossen wie RTV-Soft Tooling.

Das Team benötigte zumindest zwei Capron-Teile, um sein Design-Konzept zu überprüfen. Sollte das veränderte Design sich als praktikabel erweisen, würde Ingersoll seinen chinesischen Lieferanten auffordern, das Käfig-Werkzeug zu modifizieren. Jedoch würde auch diese Strategie Ingersoll im Zeitplan zwei bis drei Wochen zurückwerfen. Da Paramount jedoch die SL-ProtoTool™ RT-Version einsetzte, konnte es das Werkzeugdesign ändern und einen Einspritzkanal aus Stahl vorsehen. Man befürchtete nämlich, dass das Komposit-Werkzeug den Einspritzkräften des glasgefüllten Nylons nicht widerstehen würde. Wie sich herausstellte, war es die richtige Entscheidung, den stählernen Einspritzkanal hinzuzufügen, da nach dem zweiten vollen Schuss die Druckbelastung auf das Capron so hoch wurde, dass ein Stück des ProtoTool™-Formteils direkt gegenüber dem Einspritzkanal abbrach. Obwohl das Werkzeug modifiziert wurde, war es Paramount so möglich, Gießteile in weniger als zwei Wochen herzustellen.

Später wurde derselbe Tooling -Versuch ohne Erfolg mit NanoForm™ wiederholt, in diesem Fall widerstand NanoForm™ dem Einspritzdruck nicht, obwohl am Einspritzkanal Stahleinsätze angebracht worden waren.

Da Paramount sehr daran gelegen war, die Wirtschaftlichkeit des neuen SL-ProtoTool™ Ansatzes im Rapid Tooling zu überprüfen, ließ es als Benchmark das Standard-Verfahren HS-CNC laufen. Im Vergleich dazu zeigte sich – was auch ein zweites Projekt, ein Auftrag, 1000 Polypropylene-Formteile zu fertigen, bestätigte –, dass die SL-ProtoTool™-Strategie zu einer deutlichen Zeitersparnis führte (Tabelle 2).

Phasenbeschreibung	Käfig SL RT#1		SL RT#2	
	PT20L	HSM AL	PT20L	HSM AL
	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden
Werkzeug Design	4	4	12	12
CAM Programmierung	-	8	-	13
Net Shape	28	24	75	36
Vorbereitung	50	40	36	37
Muster-Werkzeug	8	8	8	8
Arbeits- & Maschinenzeit	90	84	131	106
SL-Material Kosten	\$ 450	\$ -	\$ 1,050	\$ -
Zusätzliche Materialkosten	\$ 250	\$ 250	\$ 350	\$ 485
Lead time	1.5 Wochen	3 Wochen	1.5 Wochen	3 Wochen

Tabelle 2. Zeit/Kosten-Vergleich von ProtoTool™ 20L Tooling versus HS-CNC

Vergleicht man die gesamten aufgewendeten Arbeitsstunden und Maschinenlaufzeiten von SL-ProtoTool™ 20L mit HS-CNC AI, so scheint es in beiden Fällen teurer zu sein, die Werkzeuge aus dem SL-Verfahren heraus zu bauen, als sie maschinell herzustellen. Jedoch ist der Benefit für das Rapid Tooling in beiden Fällen der Zeitvorsprung, da SL die Spritzgußteile in der Hälfte der Zeit lieferte im Vergleich zur vorgegebenen Zeit. Darüber hinaus hat Paramount Industries gezeigt, dass in beiden Fällen RT#1 und RT#2 wiederholt bewiesen: SL Rapid Tooling bringt eine deutliche Zeit- und Kostenersparnis. Das beruht vermutlich auf den Erkenntnissen, die durch den Einsatz von Komposit-Tooling in diesem und drei anderen Versuchsreihen gewonnen wurden.<sup>2</sup> Diese Erkenntnisse beziehen sich auch auf die Endmontage und den richtigen Einbau von Komposit-Werkzeugen in den Spritzguß-Rahmen und auf die Lagenstärke, die für den Formenbau nötig sind. Beide Formteile wurden im hochauflösenden Modus auf der Viper-Anlage in 0.05mm Lagen hergestellt. Die Auflösung hätte in beiden Fällen auf 0.10mm Lagen verringert werden können. Dadurch hätte noch mehr Zeit gewonnen werden können.

## Sponsoring einer Arbeitsgruppe

Paramount schloss fünf RT-Projekte erfolgreich ab, indem es den SL/ProtoTool™-Ansatz verfolgte. Während diese Projekte, genauso wie andere an anderen Standorten in den USA

und Europa, ein wirtschaftlicher Erfolg waren, tauchten eine Reihe von Fragen auf, vor allem, was die Optimierung des Werkzeug-Designs und der Lebenszeit von Werkzeugen betraf. Auch Fragen zu den Unterschieden zwischen NanoForm™ 15120 und ProtoTool™ 20L sowie zur Optimierung der Spritzguß-Parameter wurden gestellt.

Die Notwendigkeit, sich diesen Fragen zu stellen, um die SL-Technologie für die RT-Welt zu erschließen, veranlasste DSM Somos, in den USA eine Arbeitsgruppe zu gründen, die seit Juni 2005 arbeitet. In ihr sind mehrere RP-Dienstleister vertreten, die NanoForm™ oder ProtoTool™ verarbeiten können oder über Spritzguß-Kapazitäten verfügen. Dazu kommen Vertreter der Konsumgüterindustrie und eine Universität. Phase eins begann mit dem Design eines einfachen, nicht geschützten Werkzeugs mit den Maßen 63mm x 44mm und speziellen Anforderungen wie hohe Ränder (8mm) und scharfe Kanten. Diese Einzelheiten, obwohl einfach, erforderten einen zweiten Verarbeitungsschritt nach dem CNC-Machining, um die scharfen Kanten zu fertigen. Das wäre mit der Stereolithographie nicht schwierig, da die Einzelheiten direkt mit dem Rest der Gießform erzeugt würden, um einen Arbeitsschritt einzusparen (Tabelle 1).

Auf der Grundlage dieses Designs wurden mehrere Formen unter Einsatz verschiedener Tooling-Verfahren erstellt, jede von einem anderen Mitglied der Arbeitsgruppe. Zu den Verfahren zählte die Stereolithographie (sowohl NanoForm™ wie ProtoTool™), CNC-Machining, Epoxid-Guß und das Nickel-beschichtete ProtoTool™ 20L. Alle Werkzeuge wurden an das Center for Manufacturing Excellence der Universität von Kentucky gesandt, wo sie eingesetzt wurden, um aus ABS auf einer Cincinnati Milacron 100-Tonnen-Pressen im Spritzgießverfahren Formteile herzustellen (Ziel war es, 100 Teile aus jedem Werkzeug-Set zu bauen). Dabei wurden Spritzguß-Parameter, Qualität der Formteile, Durchlaufzeit und Faktoren berücksichtigt, die die Lebenszeit des Werkzeugs beeinflussen. Diese Untersuchung erbrachte wichtige Erkenntnisse, die diesem Beitrag zugrunde liegen. Die vollständige Untersuchung wird auf der SME Rapid Prototyping 2006 veröffentlicht.

## Die Gestaltung des Einspritzkanales

Der Einspritzkanal wurde für ein Aluminium-Werkzeug konzipiert, und ein MoldFlow Programm berechnete die optimale Position. Die Original-Größe des Einspritzkanales war 6mm (b) x 1mm (t) x 2mm (l) was sich bei keinem der Werkzeuge als problematisch erwies außer bei den aus NanoForm™ gefertigten (Tabelle 3). Das Elastizitätsmodul von NanoForm™ beträgt annähernd die Hälfte des Wertes von ProtoTool™. Man war der Ansicht, dass NanoForm™ den Kräften, die auf den Einspritzkanal wirken, nicht standhalten würde, wie beim Formteil NanoForm™ 1 zu beobachten war. Ein Teil des Einspritzkanals brach nach dem zweiten ABS-Schuss ab, dennoch wurde das Spritzgießen fortgeführt, bis der Versuch in einem totalen Materialversagen endete. Nachdem der zerbrochene

Einspritzkanal der ersten NanoForm™-Form inspiziert worden war, entschied man, dass der Einspritzkanal für dieses Kunstharz zu klein war. Deshalb wurde die nächste Reihe der NanoForm™ Formen erweitert und vertieft, bis der Einspritzkanal-Bereich viermal so groß wie das Original war. In einer zweiten und dritten Versuchsreihe mit NanoForm™ 2 zerbrach der Einspritzkanal nicht.

Vergleicht man NanoForm™ mit ProtoTool™ 20L, so ist festzustellen: Der Einspritzbereich der ProtoTool™-Einsätze wurde entsprechend dem ursprünglichen Werkzeugdesign in der Originalgröße belassen, wobei es zu keinem Bruch wie bei den NanoForm™-Formen kam. Auf der Grundlage dieser Untersuchung, des Paramount-Versuches und weiterer Berichte aus der Industrie können einige Schlussfolgerungen im Hinblick auf den SL-Komposit-Formenbau gezogen werden.

1. Besonderes Augenmerk ist auf die Gestaltung des Einspritzkanals zu richten, sowohl bei ProtoTool™ wie auch bei NanoForm™.
2. Wegen seinem geringeren Zugmodul ist für den Werkzeugbau mit NanoForm™ im Vergleich zu ProtoTool™ höhere Sorgfalt geboten.
3. Der Werkzeugbauer sollte entweder eine Vergrößerung des Einspritzkanals in Betracht ziehen (besonders im Fall von NanoForm™) oder er kann ihn auch an anderer Stelle positionieren. Oder es kann ein Metalleinsatz verwendet werden, wenn Thermoplaste mit hohem Abrieb gegossen werden sollen.

Tooling Methode	SL Build style	Größe Einspritzkanal	Sichtbare Veränderungen am Einspritzbereich	#gefertigte Teile
NanoForm™ 1	flach, 0.10mm Schicht	original	Großes Stück brach nach dem 2. Schuß ab	40
NanoForm™ 2	Kante, 0.15mm Schicht	4x größer	None	35
NanoForm™ 3	flach, 0.10mm Schicht	4x größer	None	110*
ProtoTool™ 20L	flach, 0.05mm Schicht	original	None	115*
Cast Epoxy	NA	original	None	115*
CNC Aluminum	NA	original	None	50*
Ni beschichtetes ProtoTool™	flach, 0.13mm Cu/Ni Beschichtung	original	None	110*

*Tabelle 3. Ergebnisse eines Spritzguß-Versuches mit unterschiedlichen Rapid-Tooling-Methoden und Form-Einsätzen aus unterschiedlichen Werkstoffen*

**\* Anmerkung: Der Spritzguß-Techniker stoppte den Versuch, solange die Werkzeuge noch in gutem Zustand waren.**

## Prozesszeit

Sowohl ProtoTool™ wie auch NanoForm™ sind Werkstoffe mit einer geringen Leitfähigkeit, deshalb war es schwieriger, die Hitze von den Werkzeugen abzuleiten als es bei Aluminium oder bei mit Aluminium gefüllten Epoxid-Werkzeugen war (Tabelle 4). Für den Spritzguss-Versuch wurden 9.5mm Kühlkanäle durch die Multi Unit Die (MUD) Basis gebohrt mit 3mm Abstand von der Oberfläche, um die Kühlung zu beeinflussen.

Fertigungszeiten wurden aufgrund der Beschaffenheit der Bauteile nach dem Pressen beurteilt. Der Durchlauf begann bei 60 Sekunden und wurde entweder nach oben oder nach unten korrigiert, je nachdem ob das Bauteil krumm war. Denn bei diesem speziellen Bauteil neigten die beiden Füße dazu, sich innerlich zu krümmen und zu verdrehen, wenn das Bauteil zu schnell herausgeworfen wurde. Deshalb wurde auf der Grundlage dieses Tests die Durchlaufzeiten für NanoForm™-Gießwerkzeuge auf bis zu  $\geq 130$  Sekunden erhöht. Als eine externe Kühlung mittels einer Vortex Kühlpistole eingesetzt wurde, verringerte sich die Prozesszeit um annähernd 20 Sekunden auf 111 Sekunden. ProtoTool™ hatte eine noch geringere Prozesszeit (75 Sekunden), wenn extern gekühlt wurde. Unklar ist, weshalb ProtoTool™ wahrscheinlich eine höhere thermische Leitfähigkeit aufweist. Eine Erklärung könnte sein, dass das Kompositharz eine höhere Konzentration von Quarzverstärkungen besitzt als NanoForm™.

Tooling Methode	Größe Einspritzkanal	Einspritzdruck (ksi)	Cycle Time	Vortex Abkühlung
NanoForm™ 1	original	5,2	138	No
NanoForm™ 2	4x größer	5,1	130	No
NanoForm™ 3	4x größer	4,7	111	Yes (10sec zwischen den Schüssen)
ProtoTool™ 20L	original	5,5	75	Yes (10sec zwischen den Schüssen)
Cast Epoxy	original	6,5	47	No
CNC Aluminum	original	8,0	35	No
Ni beschichtet ProtoTool™	original	5,75	81	No

*Tabelle 4. Vergleich der Prozesszeiten*

## Schlussfolgerung

Rapid-Tooling mit SL-Kompositen hat sich als eine gangbare Alternative zu CNC gefertigten Aluminium-Werkzeugen oder Epoxid-Guß-Werkzeugen bei Kleinserien (unter 500 Teilen) erwiesen. Obwohl die Materialkosten für die Formen in manchen Fällen höher liegen können

als bei Aluminium-Werkzeugen, erweist sich die geringere Vorbereitungszeit als Vorteil, wie das Beispiel Paramount Industries belegt. Je kleiner das Werkzeug, desto weniger ausschlaggebend erweisen sich die Kosten für das SL-Kunstharz. Dazu kommt, dass Komposit-Werkzeuge eine unterschiedliche Handhabung erfordern im Vergleich zu Aluminium-Werkzeugen. Eine sorgfältige Betrachtung der Gestaltung des Einspritzkanals und der Kühlmethode ist nötig. Wenn man SL-Komposit-Gießwerkzeuge zu den gängigen Verfahren im Werkzeugbau hinzufügt, kann der Formenbauer die Angebotspalette von Dienstleistungsbüros erweitern und möglicherweise Spritzguss-Formteile in geringerer Zeit ausliefern als seine Wettbewerber. Das bedeutet einen echten Wettbewerbsvorsprung auf dem Markt.

## Literaturverweis:

Williams, Jim, Kaufmann, Charles, "Injection Molding with Composite Stereolithography Resins," SME Rapid Prototyping 2005, Dearborn, Michigan, 2005, Seiten 3-7

Williams, Jim, Kaufmann, Charles, "Injection Molding with Composite Stereolithography Resins," SME Rapid Prototyping 2005, Dearborn, Michigan, 2005, Seiten 13-16

## Kontaktangaben

Eva Montgomery  
DSM Somos®  
1122 St. Charles Street  
60120 Elgin, Illinois, USA  
WEB: [www.dsm.com](http://www.dsm.com)