

› **Konturnahe Temperierung durch additiv gefertigte Werkzeugeinsätze**

# Hotspots gehören der Vergangenheit an

Die Auslegung der Werkzeugtemperierung beeinflusst massgeblich die Zykluszeit und die Formgenauigkeit der Kunststoffbauteile. Mit steigender geometrischer Komplexität des Bauteils wird die Umsetzung der Kühlkanäle im Werkzeug immer schwieriger. Durch additiv gefertigte Werkzeugeinsätze kann eine komplexe Führung der Kanäle in allen drei Dimensionen konturnah ermöglicht werden, wodurch eine homogene Temperaturverteilung an der Kavitätsoberfläche sichergestellt und sogenannte Hotspots vermieden werden.

› **Prof. Dr. Frank Ehrig<sup>1</sup>**  
**Dr. Andreas Kirchheim<sup>2</sup>**

Werkzeugeinsätze mit konturnaher Temperierung wurden in der Vergangenheit meist mit Vakuumlöten hergestellt. Ergänzend kamen die additiven Fertigungsverfahren, wodurch sich zusätzliche Designfreiheiten ergaben. Zu diesen Verfahren gehört auch das Selektive Laserschmelzen (SLM), das am weitest verbreitete additive Fertigungsverfahren zur Herstellung qualitativ hochwertiger Werkzeuge und anderer metallischer Bauteile.

## Variothermtemperierung durch konturnahe Kanäle

Beim SLM wird das digitale CAD-Modell eines Werkzeugs in Schichten zerlegt. Die Schichtinformationen werden mit den SLM-Prozessparametern, wie Laserleistung, Scangeschwindigkeit etc. verknüpft und an die SLM-Maschine transferiert. Beim SLM wird dann schichtweise eine dünne Schicht Metallpulver (30–70 µm) auf einer Bauplatte aufgetragen und lokal werden durch einen Laser die Pulverpartikel verschmolzen. Anschliessend wird die Bauplatte um eine Schichtdicke abgesenkt und der Vorgang wird wiederholt bis das Bauteil fertig ist. Mit Hilfe von SLM können auch sogenannte Hybridwerkzeuge gefertigt werden, d.h. auf einfachen Werkzeuggrundplatten oder -einsätzen lassen sich komplexe Strukturen mit konturnaher

<sup>1</sup> Prof. Dr. Frank Ehrig, Leiter des Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR  
<sup>2</sup> Dr. Andreas Kirchheim, Leitung Advanced Production Technologies, ZHAW School of Engineering



Bild: HSR

Bild 1: Demonstratorbauteil Hexenhut

Temperierung additiv aufbauen. Besonders für die variotherme Werkzeugtemperierung beim Spritzgiessen ist der Einsatz einer konturnahen Kühlung interessant. Diese dynamische Werkzeugtemperierungsmethode wird zur Erzielung einer bestimmten optischen Qualität (z. B. bei geschäumten Bauteilen oder glänzenden Oberflächen) oder einer verbesserten Abformung der Werkzeugoberfläche (z. B. Mikrostrukturen) eingesetzt. Beim Einspritzen der Schmelze wird hierzu die Werkzeugtemperatur an der Kavitätsoberfläche erhöht. Aus energetischen und wirtschaft-

lichen Gründen macht es Sinn, nur den Kavitätsbereich variotherm zu fahren. Diese Temperaturerhöhung der Kavitätsoberfläche während der Einspritzphase kann durch mit heissem Wasser durchströmten Kanälen, keramische Heizelemente, Induktion oder Laser erfolgen. Das Kühlen erfolgt standardmässig mit wasserdurchflossenen Kühlkanälen.

Der Vorteil der «Wasser-Wasser-Variothermtemperierung» liegt in der Designfreiheit und dass sowohl das heisse als auch das kalte Wasser durch die gleichen Kanäle fliesst. Die Umschaltung zwischen heissem und kühlerem Wasser erfolgt über eine mit der Spritzgiessmaschine gekoppelte Umschalteneinheit. Das Aufheizen und Kühlen der Werkzeughälften ist umso effizienter je näher die Kühlkanäle an der Kavitätsoberfläche liegen, da die thermische Masse des Werkzeugbereichs, welcher geheizt bzw. gekühlt werden muss, somit kleiner wird.

## Der Hexenhut – Kooperationsprojekt HSR und ZHAW

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der

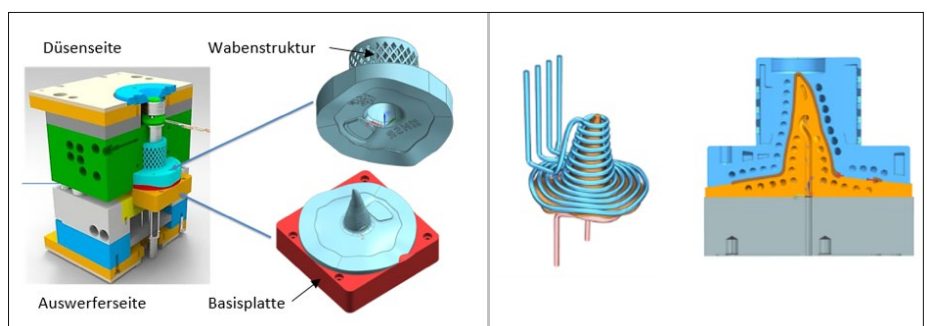
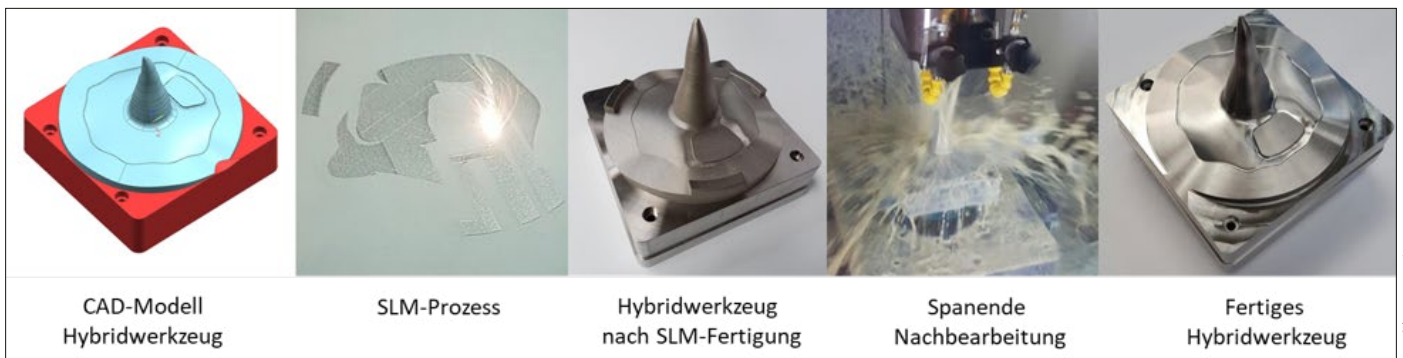


Bild 2: Einbausituation der Einsätze (links) und konturnahe Kühlkanalverlauf (rechts).

Grafik: ZHAW/HSR



Grafik: ZHAW/HSR

Bild 3: Fertigungsschritte der hybridgefertigten Auswerferseite.

Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) und dem Zentrum für Produkt- und Prozessentwicklung (ZPP) der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) konnten die Möglichkeiten dieser Technologien an einem neuen Spritzgiesswerkzeug aufgezeigt werden.

Dazu wurde in einem ersten Schritt ein Design für ein neues, optisch ansprechendes und gleichzeitig funktionelles Demonstratorbauteil ausgearbeitet. Die Wahl fiel auf einen Flaschenöffner mit einem Design ähnlich dem eines Hexenhutes (Bild 1).

An der HSR wurde das vorgegebene Design im CAD umgesetzt und kunststoffgerecht gestaltet. Der Bereich des Flaschenöffners wurde für eine längere Lebensdauer des Bauteils mit Hilfe eines Metall-Inserts verstärkt, welcher direkt umspritzt wird. In einem zweiten Schritt wurde das Bauteil hinsichtlich seiner Fertigung und späteren Anwendung optimiert. Dazu gehörte zum einen die mechanische Auslegung des Bauteils durch Simulation des Flaschenöffnungsprozesses. Zum anderen konnten durch rheologische Auslegung die Wanddicken am Kunststoffbauteil so angepasst werden, dass die am Flaschenöffner entstehende Bindaht in einen Bereich mit geringerer mechanischer Beanspruchung gelegt werden konnte. Hierauf basierend wurde der Aufbau des Stammwerkzeugs konzipiert und umgesetzt.

## Auslegung und Herstellung der Kavitätseinsätze

Die Konstruktion der Kavitätseinsätze, die Gestaltung der Kanalführung, die thermische Auslegung sowie die Fertigung der SLM-Einsätze erfolgte an der ZHAW unter konsequenter Berücksichtigung der Konstruktionsrichtlinien für die additive Ferti-

gung. Ziel der Auslegung ist die homogene Temperaturverteilung an der Kavitätsoberfläche sowohl auf der Düsen- als auch auf der Auswerferseite. Bild 2 zeigt die Konstruktionsdetails der beiden Werkzeughälften mit den konturnahen Temperierkanälen. Zur Reduktion der Bauzeit und Spannungen wurden bei der oberen Werkzeughälfte die massiven Strukturen durch eine Wabenstruktur ersetzt. Beim Unterwerkzeug wurde die Basisplatte konventionell hergestellt und die komplizierte Werkzeugkontur mit den konturnahen Kanälen auf die Basisplatte additiv Schicht für Schicht aufgeschmolzen. Dies wird als Hybridbauweise bezeichnet. Die Bauplatte für das Oberwerkzeug und auch die Basisplatte für das Hybridwerkzeug müssen aufgrund der thermischen Spannungen, die durch den sehr hohen punktuellen Energieeintrag durch den Laser beim SLM entstehen, ausreichend dimensioniert sein. In diesem Fall musste eine 50 mm dicke Bauplatte verwendet werden. Hierdurch wurden die thermischen Verformungen entscheidend reduziert.

Die additive Fertigung der düsen- und auswerferseitigen Werkzeugeinsätze erfolgte auf einer Renishaw AM 400HT SLM-Maschine. Die Hauptschritte der Fertigung waren Montage und Justierung der Basisplatte im Bauraum der SLM-Maschine, schichtweises Auftragen des Metallpulvers (1.2709) und selektives Laserschmelzen der einzelnen Schichten. Anschliessend musste das Hybridwerkstück aus dem Pulverbett befreit werden, die Kühlkanäle wurden ausgeblasen und die Fertigbearbeitung erfolgte auf einem Bearbeitungszentrum (Bild 3).

Die SLM-Einsätze wurden anschliessend in das an der HSR gefertigte Stammwerkzeug integriert.

## Ausblick

Aktuell laufen an der HSR diverse Untersuchungen zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der konturnahen Kühlkanäle mit dynamischer Werkzeugtemperierung und zur Gegenüberstellung mit thermischen und rheologischen Simulationsergebnissen. Dadurch soll zusätzliches Know-how für zukünftige Projekte im Bereich der konturnahen Temperierung von Werkzeugen bzw. -einsätzen aufgebaut werden. Am ZPP der ZHAW wird die additive Fertigung und Entwicklung von Werkzeugen mit konturnaher Kühlung vorangetrieben, um Fertigungsprozesse weiter zu optimieren.

*Projektteam: HSR: Prof. Dr. Frank Ehrig, MSc. Curdin Wick, Manuel Suarez, Severin Haas. ZHAW: Dr. Andreas Kirchheim, BSc. Patrik Hochreutener, David Heiniger, David Sijbesma.*

## Kontakte

HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
Prof. Dr. Frank Ehrig  
Oberseestrasse 10  
CH-8640 Rapperswil  
+41 55 222 4905  
frank.ehrig@hsr.ch  
www.iwk.hsr.ch

**AM Expo: Halle 2, Stand C 2082**

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)  
Dr. Andreas Kirchheim  
Gertrudstrasse 15  
CH-8401 Winterthur  
+41 58 934 76 25  
andreas.kirchheim@zhaw.ch  
www.zhaw.ch

**AM Expo: Halle 2, Stand C 2086**