

# Cooler Typen für eine effiziente Werkzeugtemperierung

## Wirtschaftlichkeitspotenzial: Spritzgießwerkzeuge aus Stählen mit hoher Wärmeleitfähigkeit

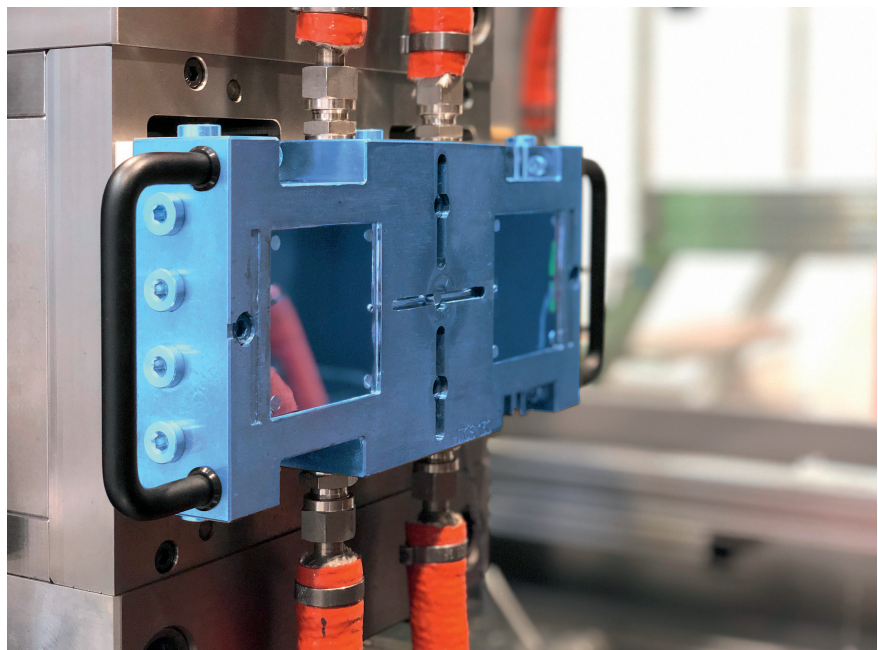
Hochwärmeleitfähige Stähle sind bereits seit einigen Jahren am Markt verfügbar, kommen jedoch nur vereinzelt in Spritzgießwerkzeugen zur Anwendung, da Unsicherheiten bezüglich ihrer Vorteile bestehen. Die TH Köln betrachtet den möglichen Nutzen hochwärmeleitfähiger Stähle und bietet somit eine Entscheidungshilfe für deren Einsatz.

Die Werkzeugtemperierung hat wesentlichen Einfluss auf die Effizienz des gesamten Spritzgießprozesses. Aus diesem Grund werden verschiedene Ansätze verfolgt, um die Temperierung effizienter zu gestalten. Zunächst geht es darum, die Durchflussmenge des Temperiermediums so zu wählen, dass einerseits optimale Strömungsverhältnisse in den Temperierkanälen und eine begrenzte Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf bestehen. Andererseits sollte der Durchfluss nicht unnötig hoch sein, um einen hohen Energiebedarf beim Betrieb der Temperiergeräte zu vermeiden.

Um dies zu erreichen, stehen Temperiergeräte mit drehzahlvariablen Pumpen sowie aktive Temperierverteiler mit Durchflussmessung und -regelung zur Verfügung. Das benötigte Kühlwasser lässt sich durch eine moderne Kälteanlage mit möglichst geringem Energiebedarf bereitstellen. Neben diesen Möglichkeiten bieten hochwärmeleitfähige Stähle einen interessanten Ansatz für weitere Verbesserungen. Daher wurde im Polymer-Labor am Campus Gummersbach der TH Köln ein hochwärmeleitfähiger Warmarbeitsstahl einem Warmarbeitsstahl 1.2343 ESU gegenübergestellt, um die spezifischen Vorteile zu bewerten.

### Hochwärmeleitfähige Stähle auf dem Prüfstand

Die im Vergleich zu üblichen Formenstählen deutlich erhöhte Wärmeleitfähigkeit (Tabelle 1) ermöglicht einen verbesserten Wärmetransport von der Kavität zum Temperierkanal. Die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten hochwärmeleitfähigen For-



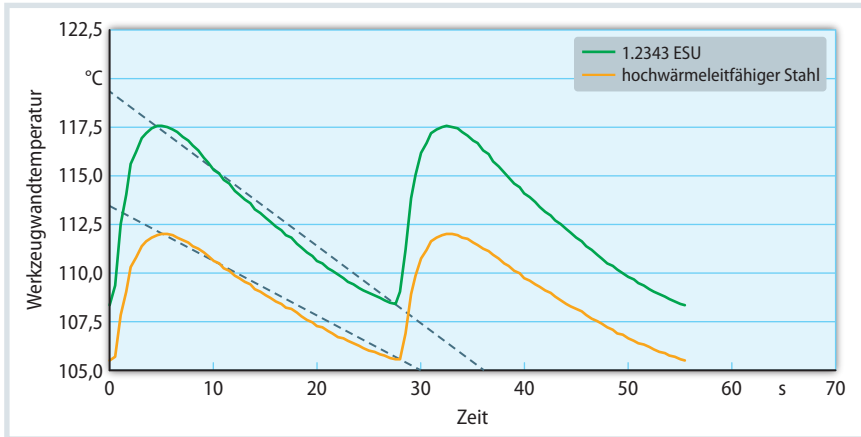
Der Einfluss von hochwärmeleitfähigen Stählen wurde mit einem Spritzgießwerkzeug für Campus-Platten untersucht © Polymer-Labor, Campus Gummersbach, TH Köln

menstahls ist mit etwa 60 W/(mK) bei einer Härte von 44 HRC mehr als doppelt so hoch wie die Wärmeleitfähigkeit des 1.2343 ESU. Für die Untersuchung wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 294-3 Campus-Platten aus PA6 (Typ: B30S; Hersteller: Lanxess Deutschland GmbH, Köln) und PC (Typ: Makrolon 2405; Hersteller: Covestro AG, Leverkusen) in einem Spritzgießwerkzeug mit zwei Kavitäten (Titelbild) hergestellt. Das thermische Verhalten der beiden Stähle wurde dabei mit kavität-nahen Thermoelementen und einer hochauflösenden Thermografiekamera untersucht [1].

Bei der Analyse der gemessenen Werkzeugwandtemperatur, am Beispiel

von PC (Bild 1), fällt auf, dass beim hochwärmeleitfähigen Stahl eine um 4 K niedrigere mittlere Werkzeugwandtemperatur erreicht wird als beim 1.2343 ESU. Somit ist von einer besseren Wärmeabfuhr aus dem Formteil auszugehen, die die Wirtschaftlichkeit des Spritzgießprozesses verbessern kann. Außerdem fällt auf, dass die Differenz zwischen Minimal- und Maximaltemperatur beim hochwärmeleitfähigen Stahl geringer ausfällt als beim 1.2343 ESU. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Spezialstahl die Wärme schneller von der Werkzeugwand zum Temperierkanal transportiert.

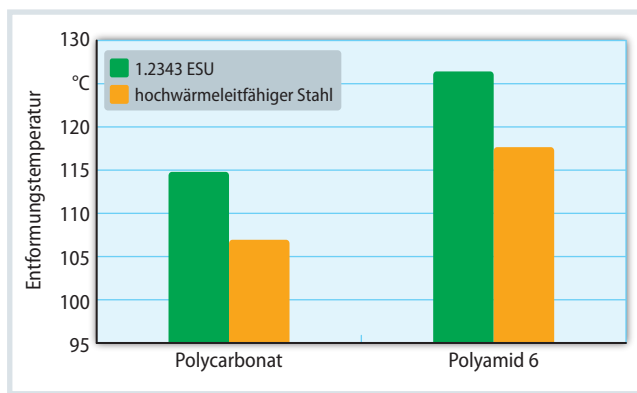
Die geringere Temperaturdifferenz führt beim hochwärmeleitfähigen »



**Bild 1.** Verlauf der Werkzeugwandtemperatur bei der Herstellung einer PC-Platte für verschiedene Werkzeugstähle Quelle: Polymer-Labor, Campus Gummersbach, TH Köln; Grafik: © Hanser

**Bild 2.** Einfluss des Werkzeugstahls auf die Entformungstemperatur von PC und PA 6 bei gleicher Vorlauftemperatur

Quelle: Polymer-Labor, Campus Gummersbach, TH Köln; Grafik: © Hanser



Stahl dazu, dass die Werkzeugwandtemperatur während der Kühlzeit langsamer fällt. Dies ist gut an den unterschiedlichen Steigungen der gestrichelten Hilfsgeraden zu erkennen (**Bild 1**). Ein möglicher Einfluss auf das Kristallisationsverhalten bei teilkristallinen Thermoplasten ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.

### Verkürzte Kühlzeit ...

Mit einer hochauflösenden Thermografiekamera wurde die Oberflächentemperatur der Formteile direkt nach der Entformung gemessen. Die Entformungstemperatur für PC und PA 6 lässt sich mit dem hochwärmeleitfähigen Stahl im Vergleich

zu 1.2343 ESU jeweils um 8 K bis 9 K senken (**Bild 2**). Bei unveränderten Einstellparametern des Prozesses bietet die niedrigere Entformungstemperatur das Potenzial für eine höhere Maßhaltigkeit. Alternativ lässt sich das bessere Wärmeübertragungsverhalten nutzen, um die Wirtschaftlichkeit des Spritzgießprozesses zu steigern.

Um diesen Effekt zu beziffern, wurde die Kühlzeit beim hochwärmeleitfähigen Stahl so weit verkürzt, dass die gleiche Entformungstemperatur erzielt wurde wie mit dem 1.2343 ESU bei unveränderten Einstellparametern. Für die untersuchte Campus-Platte ergab sich eine Verkürzung der Kühlzeit um 2,5 s (**Bild 3**), was einer Dif-

ferenz von 9% entspricht. Dabei ist zu beachten, dass die Werkzeugwandtemperatur beim hochwärmeleitfähigen Stahl weiterhin unterhalb der von 1.2343 ESU liegt. Ob dies negative Auswirkungen auf das Kristallisationsverhalten von teilkristallinen Thermoplasten hat, muss noch untersucht werden.

### ... oder reduzierter Energiebedarf

Alternativ zur Verkürzung der Kühlzeit können hochwärmeleitfähige Stähle den Energiebedarf senken, da sich, im Vergleich zu herkömmlichen Formenstählen, eine niedrigere Werkzeugwandtemperatur (bei gleicher Vorlauftemperatur) ergibt (**Bild 1**). Um die gleiche Werkzeugwandtemperatur wie bei 1.2343 ESU zu erzielen, kann man die Vorlauftemperatur am Temperiergerät entsprechend anheben – in diesem Fall um 4 K. Dies ermöglicht es, gleichfalls die Kühlwassertemperatur der Kälteanlage anzuheben. Gleiches gilt für die direkte Temperierung der Spritzgießwerkzeuge mit Kühlwasser.

Wie hoch die Einsparungen ausfallen, hängt von der Art der Kälteanlage ab. Bei einer konventionellen Kältemaschine lässt sich der Energiebedarf um 16 bis 32% reduzieren [5–7]. Ersetzt man diese Kälteanlage durch eine modernere Bauart mit Freikühlern, kann der Energiebedarf hingegen um etwa 60% gesenkt werden. Wenn man die Vorlauftemperatur einer solchen Kälteanlage durch den Einsatz hochwärmeleitfähiger Stähle um 4 K erhöhen kann, sinkt der Energiebedarf um weitere fast 20% – insgesamt also um fast 80%.

Um die Kosteneinsparungen zu verdeutlichen, wird für den geringeren Energieeinsatz eine äquivalente Umsatzsteigerung ermittelt. Die äquivalente Umsatzsteigerung entspricht der Steigerung des Umsatzes, die notwendig ist, um den Betrag der eingesparten Energiekosten als Umsatzrendite zu erwirtschaften. Die äquivalente Umsatzsteigerung  $\dot{A}US$  berechnet sich aus der Energieeinsparung  $EE$ , dem Energiekostenanteil der Kälteanlage  $EKAK$  und der Umsatzrendite  $UR$ :

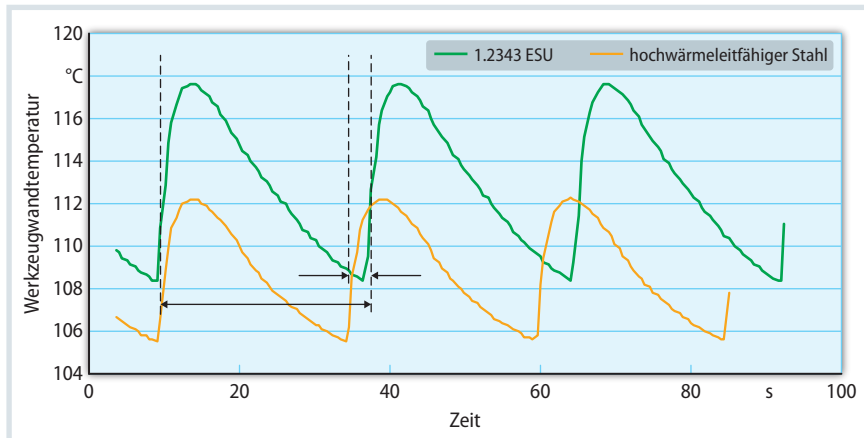
$$\dot{A}US = \frac{EE \cdot EKAK}{UR}$$

Der Energiekostenanteil der Kälteanlage liegt, bezogen auf die gesamten Herstellungskosten, für die Spritzgießfertigung

Stahlsorte	Einheit	1.2083	1.2312	1.2343	1.2379	hochwärmeleitfähige Stähle
Wärmeleitfähigkeit bei 20°C	W/(m·K)	21 bis 24	35	25 bis 27	17 bis 21	bis ca. 60
erzielbare Härte	HRC	50 bis 56	52	30 bis 56	58 bis 62	34 bis 54
Festigkeit	N/mm <sup>2</sup>	720 bis 810	950 bis 1100	770 bis 780	720 bis 860	bis ca. 1500

**Tabelle 1.** Materialeigenschaften ausgewählter Werkzeugstähle im Vergleich Quelle: Herstellerangaben

Meusburger/Hasco/Rovalma [2–4]



**Bild 3.** Verlauf der Werkzeugwandtemperatur bei unveränderten Prozessparametern für 1.2343 ESU und verkürzter Kühlzeit für den hochwärmeleitfähiger Stahl Quelle: Polymer-Labor,

Campus Gummersbach, TH Köln; Grafik: © Hanser

Optimierungsansatz	Äquivalente Umsatzsteigerung bei verschiedenen Kälteanlagen	
	konventionelle Kälteanlage	Kälteanlage mit Freikühlern
Kälteanlage mit Freikühlern	2 % bis 4 %	–
Hochwärmeleitfähiger Stahl	1 % bis 2 %	1,5 % bis 3 %
Mischelemente im Temperierkanal	0,3 % bis 2,5 %	0,7 % bis 3,5 %

**Tabelle 2.** Durch verschiedene Optimierungsmaßnahmen lassen sich Energieeinsparungen erzielen, die hier als äquivalente Umsatzsteigerungen dargestellt sind Quelle: Polymer-Labor,

Campus Gummersbach, TH Köln

bei 0,25 bis 0,5 % [8, 9]. Nimmt man eine Umsatzrendite von 8 % an, liegt die äquivalente Umsatzsteigerung je nach verwendeter Kälteanlage bei bis zu 3 %.

### Mehr Effizienz im Temperierkanal

Weiteres Potenzial zur Effizienzsteigerung bietet ein verbesserter Wärmeübergang im Temperierkanal. Dazu können statische Mischelemente in den Temperierkanal eingebracht werden [10]. So lässt sich die Werkzeugwandtemperatur um 2 K bis 5 K absenken. Dementsprechend sind auf diese Weise – wie beim Einsatz hochwärmeleitfähiger Stähle – kürzere Kühlzeiten oder Energieeinsparungen möglich. Der Einsatz geeigneter Mischelemente wird derzeit am Campus Gummersbach der TH Köln im BMBF-geförderten Projekt OptiTemp untersucht.

### Gewusst wie

Hochwärmeleitfähige Stähle können die Wirtschaftlichkeit in Spritzgießprozessen verbessern. Ob dies über den Hebel der Kühlzeitverkürzung oder für Energieein-

sparungen sinnvoll ist, hängt unter anderem von den benötigten Werkzeugtemperaturen ab. Wird eine Kälteanlage mit relativ niedriger Vorlauf-temperatur betrieben, weil einige wenige Prozesse diese Temperatur erfordern, kann der Energiebedarf der Kälteerzeugung mit relativ geringen Investitionen (in hochwärmeleitfähige Formeinsätze und statische Mischelemente) optimiert werden.

Dies gilt insbesondere bei konventionellen Kälteanlagen ohne Freikühler. Die erzielbaren Energieeinsparungen können im günstigsten Fall, bei Standardausführung des Spritzgießwerkzeugs, an das Einsparpotenzial einer neuen Kälteanlage mit Freikühlern heranreichen. Wird eine moderne Kälteanlage mit Freikühlern bereits mit relativ hohen Vorlauf-temperaturen betrieben, können mit hochwärmeleitfähigen Stählen oder Mischelementen vergleichsweise hohe prozentuale Einsparungen erzielt werden (Tabelle 2).

Die absoluten Einsparungen bei den Energiekosten sind jedoch geringer als bei einer Kälteanlage ohne Freikühler. Bei einer modernen Kälteanlage können hochwärmeleitfähige Werkzeugstähle, aber auch statische Mischelemente, bes-

ser geeignet sein, um die Kühlzeit zu verkürzen.

### Einfluss auf das Kristallisationsverhalten noch ungeklärt

Für einen erfolgreichen Einsatz hochwärmeleitfähiger Stähle muss die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit auftragsbezogen erfolgen. Aufgrund der erhöhten Material- und Bearbeitungskosten beeinflussen vor allem die Formteilgeometrie und die Stückzahl die Gesamtbilanz. Will man diese Spezialstähle dazu nutzen, die Energiekosten für die Kälteerzeugung zu verringern, spielt die notwendige Werkzeugtemperatur und damit der zu verarbeitende Kunststoff eine wesentliche Rolle.

Bei gleicher Vorlauf-temperatur haben hochwärmeleitfähige Stähle das Potenzial, über eine abgesenkte Werkzeugwandtemperatur die Maßhaltigkeit zu verbessern. Es sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass zurzeit keine Kenntnisse über den Einfluss von hochwärmeleitfähigen Stählen auf das Gefüge von teilkristallinen Kunststoffen vorliegen. Im Polymer-Labor der TH Köln wird derzeit der Einfluss auf das Kristallisationsverhalten und die erzielbare Maßhaltigkeit untersucht. ■

## Die Autoren

**Dr. Michael Stricker** ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Polymer-Labor am Campus Gummersbach der TH Köln; michael.stricker@th-koeln.de

**Prof. Dr. Simone Lake** ist seit 2010 Professorin am Campus Gummersbach der TH Köln für den Bereich Kunststofftechnik und leitet dort das Polymer-Labor; simone.lake@th-koeln.de

### Dank

Besonderer Dank gilt Ole Mensing, der im Rahmen seiner Bachelorarbeit einen wesentlichen Beitrag zur Erfassung der erforderlichen Messdaten geleistet hat.

## Service

### Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-12](http://www.kunststoffe.de/2020-12)