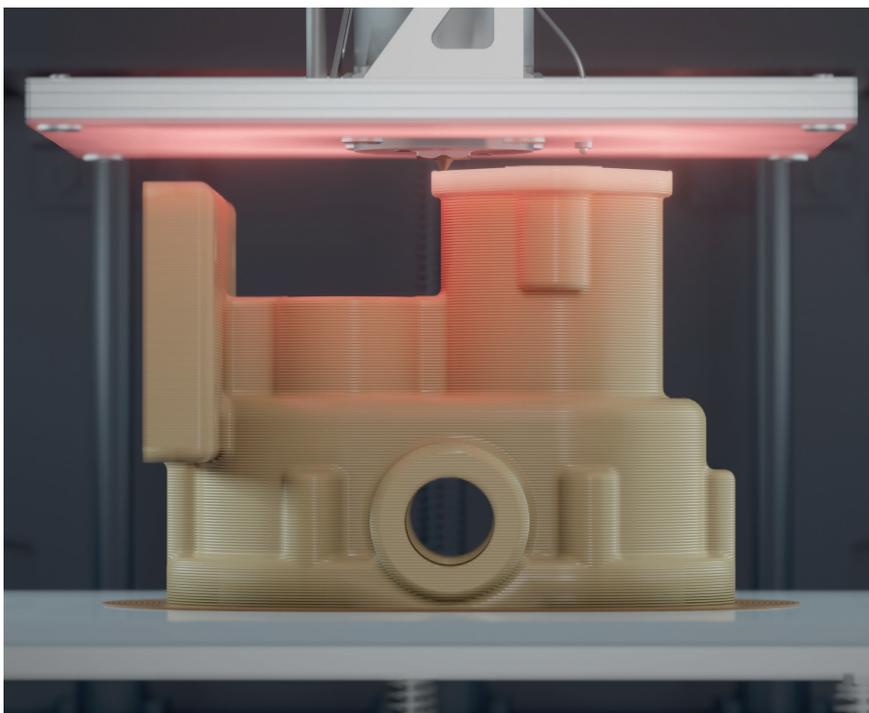


# Hochleistungspolymeren gezielt einheizen

*Das thermische Management spielt beim 3D-Druck von Hochleistungsthermoplasten eine entscheidende Rolle*

Beim Drucken von Hochleistungspolymeren wie PEEK treten aufgrund der verhältnismäßig hohen Drucktemperatur und der Änderungen im Materialgefüge Spannungen im Bauteil auf. Diese Spannungen können zu Mikrorissen, Warping, Cracking und schließlich zu Bauteilversagen führen. Im Projekt Smart Printbed wurde ein System entwickelt, um diese Einflüsse zu minimieren und darüber hinaus elektrische Energie zu sparen.



Für ein optimales Thermomanagement setzt das Zonenheizsystem im Apium P220 3D-Drucker nicht nur auf Heizung von Seiten des Druckbetts, sondern auch von von oben

© Hochschule Karlsruhe

**H**ochleistungsthermoplaste zeichnen sich durch viele technisch relevante Eigenschaften aus. Sie sind fest, leicht, thermisch, chemisch und biologisch resistent. Damit können sie autoklaviert und desinfiziert werden, was sie im Bereich der Medizintechnik vielseitig einsetzbar macht. Allerdings gestalten die Eigenschaften die Verarbeitung dieser Polymere schwierig. Grund genug, ein Verfahren zur additiven Verarbeitung in einem ZIM Projekt des Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule

Karlsruhe und der Apium Additive Technologies GmbH zu erforschen. Beim Kunststoff handelt es sich um Polyetheretherketon, kurz PEEK, ein Thermoplast teilkristalliner Natur. Teilkristallinität bedeutet, dass mit dem Erstarren des Kunststoffes eine Volumenänderung einhergeht. Es gibt unterschiedliche Ansätze dieser Volumenänderung entgegenzuwirken.

Die meisten Druckerhersteller beheizen den Bauraum, damit das Polymer keine ungünstigen Spannungszustände ein-

nimmt. Eine globale Heizung bedeutet allerdings wenig Kontrolle bei unterschiedlich dicken Bauteilen sowie einen hohen ungerichteten Energieverbrauch.

*Die Zonenheizung führt nur da Energie zu, wo nötig*

Apium entwickelte in diesem Projekt eine mittlerweile patentierte Zonenheizungs-lösung, die dem Bauteil die Energie zuführt, die es benötigt, um in einem gleichmäßigen und stabilen Zustand zu erstarren. Dies bedeutet weniger Zeitverlust, bis produziert werden kann, da das Bauvolumen nicht beheizt werden muss, weniger Energieverbrauch und stärkere Kontrolle über die einzelnen Druckbereiche.

Das IMP ergänzte dieses Projekt durch ein innovatives Druckbett in dem partiell geheizt, gekühlt und die Temperatur gemessen werden kann. Dies verbessert die Bauteilqualität zusätzlich, da noch präziser Energie in das Bauteil geführt wird, und spart darüber hinaus noch bis zu 90% der Primärenergie, verglichen mit einem herkömmlichen Druckbett. In **Bild 1** ist die schematische Skizze des smarten Druckbetts dargestellt. Das segmentierte Druckbett besteht aus 25 einzelnen, 2 x 2 cm großen Peltierelementen, die sich mosaikartig zum kompletten Druckbett zusammensetzen.

Durch den schachbrettartigen Aufbau ist es möglich, nur die Bereiche zu beheizen, die auch tatsächlich mit dem Bauteil in Berührung stehen. Gerade bei kleinen Bauteilen kann dadurch der Stromverbrauch deutlich gesenkt »

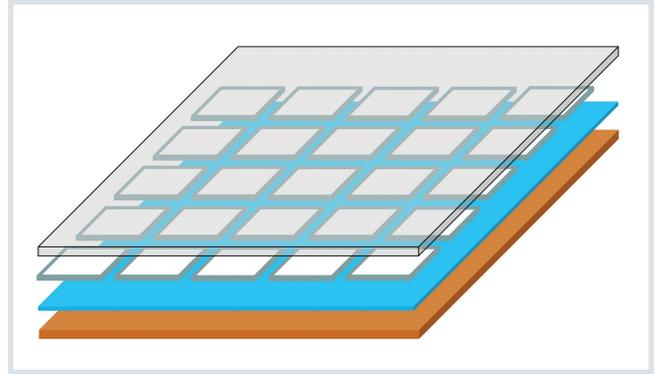
werden, da nicht das ganze Druckbett auf Temperatur gehalten werden muss. Ein weiterer Schritt zur Einsparung elektrischer Energie liegt in den Peltier-elementen selbst.

### Die Rolle der Peltierelemente im smarten Druckbett

Beim Heizen machen sich die Elemente den Wärmepumpeneffekt zunutze und sparen nochmals bis zu 10% der Primärenergie, verglichen mit herkömmlichen Ohm'schen Widerständen. Durch die Umkehrung der Stromflussrichtung kann mit Peltierelementen nicht nur geheizt, sondern auch gekühlt werden. Dies ver-

**Bild 1.** Das Smart Printbed kann heizen, kühlen und die Temperatur messen. Die schematische Skizze des Druckbetts zeigt den Aufbau, der aus 25 einzelnen Peltierelementen besteht

© Hochschule Karlsruhe



ringert die Abkühlzeit nach dem Druck und ermöglicht darüber hinaus ein noch präziseres thermisches Management des Druckvorgangs. Der dritte große Vorteil einer Verwendung von Peltierelementen ist, dass sie – bedingt durch den Seebeck-Effekt – auch als Thermoelement zur Prozess temperaturüberwachung verwendet werden können. Der Seebeck-Effekt kann als umgekehrter Peltier-Effekt betrachtet werden. Diesmal führt also eine Temperaturdifferenz zu einer kleinen elektrischen Spannung, damit lassen sich Rückschlüsse auf die Temperatur ziehen. Ein Effekt, den sich übrigens auch jedes Thermoelement zunutze macht. Da sequenziell entweder geheizt/gekühlt oder gemessen werden kann, wird immer zwischen einem Heiz-/Kühlzyklus und einem Messzyklus alterniert.

Bevor jedoch ein Peltierelement zur Temperaturmessung genutzt werden kann, muss zunächst die charakteristische Kenngrößen jedes einzelnen Elements ermittelt werden. Im Messaufbau werden eine Wärmequelle und -senke auf jeweils eine Seite des Peltierelements angebracht und die jeweiligen Temperaturen konstant gehalten, damit sich eine bestimmte Temperaturdifferenz einstellt und die aus dem Seebeck-Effekt resultierende Spannung gemessen werden kann. Die durch diesen Effekt gemessenen Spannungen schwanken im Testaufbau zwischen 123 mV und 338 mV.

In der Praxis bedeutet dies, dass die Seebeck-Spannung bei jedem Element einzeln experimentell bestimmt werden muss. Dies erfordert vor allem in der Endmontage einen gewissen Aufwand, damit dem technischen Vorteil nicht zu hohe Fertigungskosten gegenüberstehen. In der praktischen Umsetzung ist neben der Erfassung der aus dem Seebeck-Effekt resultierenden Strom-Span-

nungs-Kennlinie vor allem die richtige Verschaltung der Peltierelemente wichtig, damit diese alle drei Betriebszustände (Heizen, Kühlen und Messen) einnehmen können. Die Peltierelemente werden in einer Brückenschaltung aufgebaut, die aus insgesamt vier Mosfets (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren) besteht (Bild 2). Die beiden zwischen dem positiven Leiter und dem Peltierelement verbauten Mosfets sind p-dotiert, die zwischen Masse und Peltierelement liegenden n-dotiert. Der Seebeck-Effekt wird beispielsweise zwischen Mosfet 1 und dem Peltierelement abgegriffen. Die Steuerung erfolgt über einen Arduino, der die Temperatur der einzelnen Heizelemente ausliest.

### Optimales thermisches Management erfordert exaktes Zusammenspiel

Das thermische Management ist für die Stabilität des Druckerzeugnisses, im Besonderen für teilkristalline Polymere wie PEEK, entscheidend. Die Steuerplatine übernimmt die Kommunikation zwischen Platine, Mikrocontroller und Zonenheizer. Ihr Zusammenspiel ist entscheidend für ein optimales Druckergebnis. Werden Bauteile teilweise kristallisiert gedruckt, sind diese in einem teilweisen stabilen Zustand. Sobald sich derartige Bauteile einem Zustand erhöhter Energie, zum Beispiel erhöhter Umgebungstemperatur und mechanischer Reibungswärme, ausgesetzt sind, werden auch die übrig gebliebenen nicht auskristallisierten Stellen nachkristallisieren. Dieses Verhalten kann mit der Sprudelflasche im Gefrierfach verglichen werden. Sobald das Wasser zu Eis gefriert, ändert sich das benötigte Volumen und die Flasche zerbricht. Im Fall der teilkristallinen Polymere verbiegt sich das Werkstück und verliert

## Die Autoren

**Matthias Feiner, M.Sc.**, ist Leiter des Technologietransfers am Institute of Materials and Processes der Hochschule Karlsruhe.

**Dipl.-Ing. Uwe Popp** ist Geschäftsführer der Apium Additive Technologies GmbH in Karlsruhe

**Prof. Dr. Francisco Javier Fernández García** ist Professor an der Polytechnic School of Engineering der Universidad de Oviedo.

**Prof. Dr.-Ing. Martin Kipfmüller** ist Leiter des Institute of Materials and Processes der Hochschule Karlsruhe.

## Dank

Dieses Kooperationsprojekt wurde aus Fördermitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung (BMW/AiF) finanziert. Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) für die finanzielle Unterstützung des Projekts.

## Service

### Digitalversion

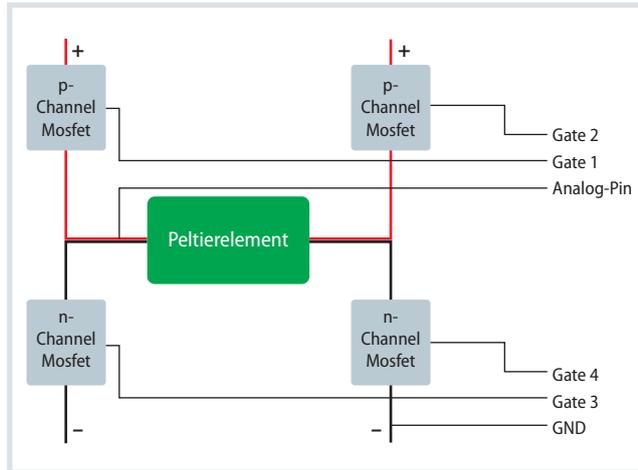
➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

im besten Fall die Form, im schlimmsten Fall bilden sich Risse. Aus diesem Grund empfiehlt es sich während des Drucks die Verarbeitungstemperatur derart einstellen zu können, dass das erzeugte Bauteil nach dem Druckvorgang in seiner stabilen Phase vorliegt und bedenkenlos eingesetzt werden kann. Ein optimiertes Thermomanagement ist also nicht nur von Seiten des Druckbetts notwendig, sondern auch von Seiten der Druckdüse, (Titelbild).

Große Bauteile benötigen andere Verarbeitungstemperaturen als kleine, schmale Bauteile. Eine gezielte Anpassung ist mit anderen Systemen, die eine generelle Umgebungstemperatur einstellen haben, nicht möglich. Gemeinsam mit dem IMP der Hochschule Karlsruhe, der Polytechnic School of Engineering der Universidad de Oviedo und der Apium Additive Technologies GmbH konnte im Rahmen eines ZIM Projektes, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft, die Signifikanz einer derart gezielten Temperatursteuerung demonstriert werden.



**Bild 2.** Auf die richtige Verschaltung kommt es an: Nur mit einer Brückenschaltung können die Peltierelemente alle drei Betriebszustände (Heizen, Kühlen und Messen) einnehmen

Quelle: Hochschule Karlsruhe; Grafik: @ Hanser

Fazit: Um Hochleistungspolymere wie PEEK energieeffizient zu drucken und dabei die positiven Materialeigenschaften maximal auszunutzen, ist ein optimiertes thermisches Management entscheidend. Um dies zu erreichen, wurde ein aus Peltierelementen bestehendes Druckbett entwickelt, bei dem diese einzeln ansteuerbar sind und segmentweise heizen,

kühlen und die Temperatur messen können. Der patentierte Zonenheizer sorgt dabei für ideale Druckbedingungen und eine gute Layerhaftung auf der Seite des Druckkopfes. Der entscheidende Vorteil ist, dass weder der gesamte Bauraum noch die gesamte Druckplatte geheizt werden muss, um ein Bauteil aus vollständig kristallisiertem PEEK zu erhalten. ■



## Werden Sie digital kompetent!

- Welche Digitalkompetenzen werden in welchen Fachbereichen benötigt?
- Wer definiert diese und wer sollte dies wie umsetzen?
- Welche Rolle spielt HR dabei?
- Was benötigen Unternehmen, um Digitalkompetenzen nicht nur aufzubauen, sondern ständig weiterzuentwickeln und was muss sich in den Unternehmensstrukturen ändern?

Das Handbuch Digitale Kompetenz bietet einen umfassenden Blick aus unterschiedlichen Perspektiven auf die zukunftsträchtige Ausrichtung von Unternehmen.

Neben top-aktuellen Erkenntnissen aus der Forschung, umfasst das Buch eine Vielzahl an konkreten Beiträgen aus der Praxis, die dabei helfen die unterschiedlichen Herangehensweisen und branchenspezifische Unterschiede zu verstehen und mit den eigenen Vorgehensweisen zu vergleichen.



Ramin

### Handbuch Digitale Kompetenzentwicklung

Wie sich Unternehmen auf die digitale Zukunft vorbereiten

600 Seiten | € 199,99 | ISBN 978-3-446-46738-5

Mehr Informationen und online bestellen unter [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)