

Auf dem Weg zu thermogeformten Metall-Kunststoff-Hybriden

Sonderverfahren eröffnet durch Funktionsintegration neue Anwendungsgebiete

Das Hybrid-Thermoformen gefüllter Kunststoffe ermöglicht eine Erweiterung des Funktionsumfangs von Thermoformteilen und eröffnet somit neue Anwendungsgebiete für das Verfahren. Mithilfe eines Einlegers, der in einem Thermoformwerkzeug platziert und von einem gefüllten Halbzeug bei der Thermoformung umschlossen wird, lassen sich dabei funktionalisierte Bauteile herstellen.

Der Thermoformprozess wird heutzutage oftmals für die Herstellung von Verpackungsartikeln eingesetzt, wobei eine hohe Wirtschaftlichkeit aufgrund kurzer Taktzeiten bei vergleichsweise geringen Werkzeugkosten erreicht werden kann. Außerdem wird das Thermoformen aber auch bei der Produktion technischer Bauteile verwendet.

In beiden Anwendungsgebieten steht das Verfahren oft in Konkurrenz zum Spritzgießen. Neben diversen verfahrenstechnischen Vorteilen birgt der Thermoformprozess hierin auch verschiedene Nachteile. So führt die Verwendung „offener“ Werkzeuge beispielsweise dazu, dass

durch zusätzliche Weiterverarbeitungsprozesse realisieren, z.B. durch Schweißen oder Kleben.

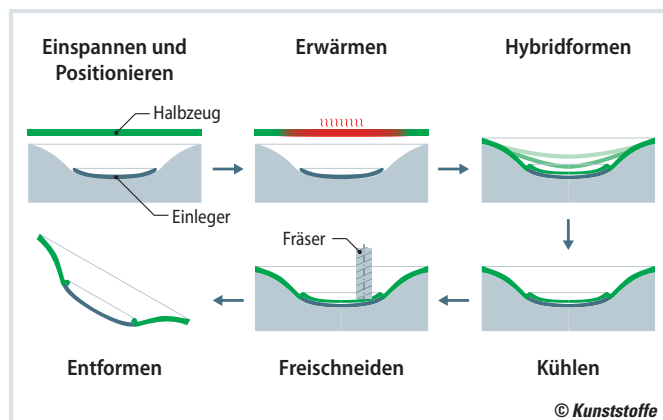
Neuartige Prozessvarianten sowie neue Werkstoffsysteme ermöglichen jedoch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Thermoformprozesses, wodurch auch neue Anwendungsgebiete für das Thermoformen erschlossen werden können. Eine Möglichkeit zur Erweiterung des Anwendungsfeldes bietet das Hybrid-Thermoformen gefüllter Kunststoffe, das am Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart zusammen mit der Kroh Kunststofftechnik GmbH, Bisingen, erforscht wird.

moform- und Fügeprozess, bei dem ein Einleger in einem Umformwerkzeug positioniert und während der Umformung des Halbzeugs formschlüssig mit dem Thermoformteil verbunden wird (**Bild 1**). Das Verfahren spart nachfolgende Weiterverarbeitungsschritte ein, beispielsweise das Schweißen oder Kleben. Somit gelingt vor allem eine Funktions- sowie Prozessintegration innerhalb des Thermoformens.

Metall-Kunststoff-Hybridbauteile bieten die Möglichkeit, die komplementären Werkstoffeigenschaften von Kunststoffen und Metallen in einem Bauteil zu kombinieren. Das Hybrid-Thermoformen großflächiger Bauteile bietet hierin das Potenzial, eine Vielzahl aktueller, monolithischer Metall- oder Kunststoffbauteile wie auch aktueller Metall-Kunststoff-Klebeverbunde durch Hybrid-Thermoformteile mit integrierten Zusatzfunktionen zu ersetzen.

Ein mögliches Anwendungsfeld für Hybrid-Thermoformteile aus gefüllten Kunststoffsystemen stellen dabei Gehäusebauteile dar, bei denen über das Gehäuse ein erhöhter Wärmestrom abgeführt werden muss (z. B. Lampenschirme oder Gehäusebauteile für Leistungselektroniken). Derzeit werden derartige Gehäuse noch überwiegend aus Metall hergestellt, was Nachteile hinsichtlich Leichtbaupotenzial und Gesamtbauteilkosten mit sich bringt. Ein solches Hybridbauteil im Labormaßstab mit zentrisch umformtem Metalleinleger und einem gefüllten Kunststoffsystem zeigt **Bild 2**. Die Kombination der komplementären Werkstoffsysteme Metall und Kunststoff birgt jedoch auch neue Anforderungen an Prozess und Halbzeug, die es bei der Aus-

Bild 1. Prozessablauf beim Hybrid-Thermoformen zur Herstellung von Gehäusebauteilen mit lokal erhöhter Wärmeabfuhr durch einen Metalleinleger
(Quelle: IKT)



sich eine ungleichmäßige Wanddickenverteilung der Bauteile im Prozess kaum vermeiden lässt [1, 2]. Auch die Gestaltungsfreiheit der Thermoformbauteile ist im Vergleich zum Spritzgießen eingeschränkt und eher auf flächige und schalenförmige Bauteile begrenzt. Funktionsintegrationen lassen sich zumeist nur

Funktionsintegration

Beim Hybrid-Thermoformen handelt es sich um ein Verfahren zur Integration von Funktionselementen, beispielsweise formstabilen Metalleinlegern, in ein Thermoformbauteil. Das Hybrid-Thermoformen steht dabei für einen kombinierten Ther-

wahl der Kunststoffkomponente zu beachten gilt.

Anforderungen an Kunststoffsysteme

Da es sich beim Hybrid-Thermoformen um ein Sonderverfahren des Thermoformens handelt, gelten für die verwendeten Kunststoffhalbzeuge die gleichen Mindestanforderungen an das Kunststoffwerkstoffsystem wie beim klassischen Thermoformen. Die Werkstoffeigenschaften, die zu einer guten Verarbeitbarkeit führen, lassen sich dabei auf verschiedenen Ebenen über mechanische sowie rheologische Kennwerte oder mittels integraler Erläuterungen, wie der qualitativen Bewertung einer Ausformbarkeit, beschreiben. Die Beschreibung über integrale Messwerte vereinfacht dem Praktiker dabei die Korrelation dieser Messwerte auf das Werkstoffverhalten im Verarbeitungsprozess. So sollten Thermoformhalbzeuge eine gute Verstreckbarkeit bei der Umformtemperatur, eine hohe Abformgenauigkeit sowie eine geringe Durchhangneigung besitzen, um eine gute Umformung zu ermöglichen. Diese Anforderungen gelten genauso auch für das Hybrid-Thermoformen.

Darüber hinaus müssen beim Hybrid-Thermoformen auch das Schwindungsmaß und die Wärmeausdehnung des Halbzeugs für einen dauerfesten Verbund zwischen Kunststoff- und Metallkomponente eingestellt werden. Ein geringes Schwindungsmaß und eine geringe Wärmeausdehnung reduzieren die Eigenspannungen zwischen dem Metalleinleger und dem Kunststoffbauteil nach der Fertigung und verbessern somit den Verbund zwischen den Komponenten.

Die Anforderungen an die Bauteilesteifigkeit und -festigkeit lassen sich beim Hybrid-Thermoformen oftmals bereits

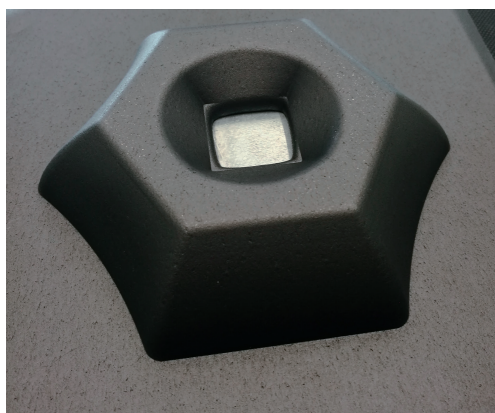


Bild 2. Hybrid-Thermoformbauteil mit umformtem Metalleinleger und verbesserter Abwärmefunktion der Gehäusebauteile (Quelle: IKT)

mit den klassischen Werkstoffsystemen ohne zusätzliche Modifizierung erzielen. Sollen jedoch Sonderanforderungen, wie beispielsweise die Gewährleistung eines sekundären Wärmeleitpfads, erzielt werden, so kann eine Additivierung der Basisysteme erforderlich werden.

Innerhalb eines gemeinsamen Forschungsvorhabens des IKT mit der Kroh Kunststofftechnik wurden sowohl der Einfluss unterschiedlicher Werkstoffzusammensetzungen wie auch der Einfluss von Prozessparametern auf die Verarbeitbarkeit innerhalb des Hybrid-Thermoformprozesses untersucht. Um eine bessere Wärmeleitung bzw. einen sekundären Wärmeleitpfad von Hybrid-Thermoformteilen zu erreichen, wurden gefüllte Kunststoffsysteme mithilfe unterschiedlicher Polystyroltypen in Verbindung mit einem sphärischen Grafitpulver hergestellt. Dafür wurden zum einen drei Polystyrole (Hersteller: Ineos Styrolution Group GmbH, Frankfurt) verwendet (PS 416N mit niedriger Viskosität, PS 486N mit hoher Viskosität sowie PS 454N mit mittlerer Viskosität) und zum anderen das Grafitpulver Graph-Therm (Hersteller: Georg H. Luh GmbH, Walluf). Diese Polystyroltypen PS1, PS2 und PS3 wurden anschließend mit stei-

gendem Füllstoffgehalt an Grafitpulver (GT) aufbereitet, anschließend zu Folien extrudiert und später im Hybrid-Thermoformen verarbeitet. Da sich auch die mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Füllstoffgehalt, -verteilung und -orientierung verändern (**Bild 3**), wurden

Die Autoren

Dominik Müller, M. Sc., ist seit 2018 Mitarbeiter der Abteilung Verarbeitungstechnik am Institut für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart; dominik.mueller@ikt.uni-stuttgart.de

Dr.-Ing. Kai Landsecker war von 2014 bis 2018 Mitarbeiter der Abteilung Verarbeitungstechnik am IKT der Universität Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten ist Leiter des IKT.

Dank

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) für die Förderung dieses Forschungsprojektes innerhalb des Förderprogramms AiF-ZIM. Weiterer Dank gilt dem Projektpartner Kroh Kunststofftechnik GmbH für die erfolgreiche Zusammenarbeit im Rahmen des geförderten Projektes.

Service

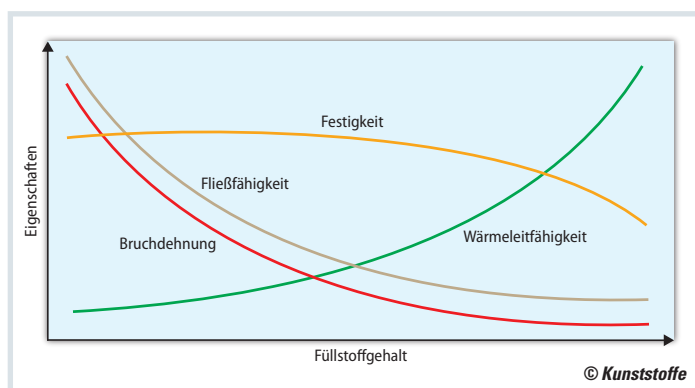
Literatur & Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-08

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Bild 3. Einfluss des Füllstoffgehalts auf die Werkstoffeigenschaften (Quelle: in Anlehnung an [3])



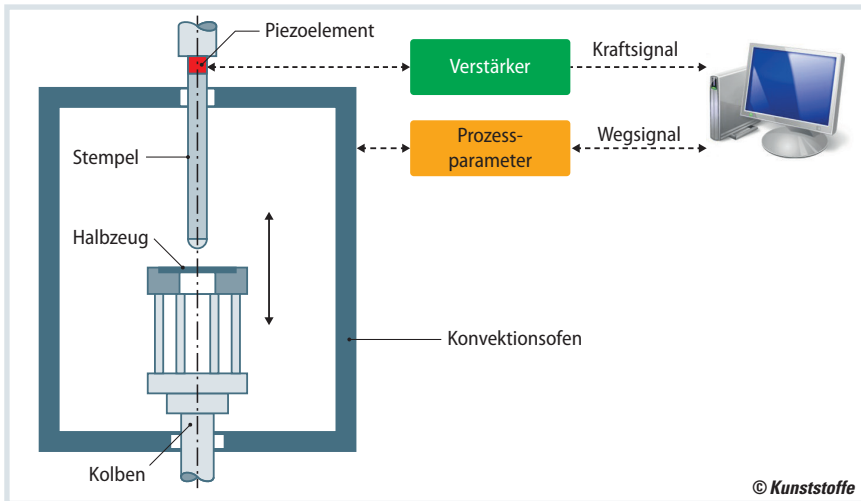


Bild 4. Thermoform-Material-Charakterisierung: Im TMC-Versuch wird ein Prüfkörper auf einem Kolben appliziert und geschwindigkeitsgeregelt mit einem fest gelagerten Stempel umgeformt (Quelle: IKT)

die hergestellten Kunststoffsysteme auf ihre Umformeigenschaften hin untersucht.

Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften

Da das Thermoformen die Halbzeuge in Dehnung beansprucht, werden für die Charakterisierung der Verarbeitbarkeit bzw. der Umformbarkeit mechanische und dehnreologische Methoden benötigt. Mit dem Thermoform-Material-Charakterisierungs-Versuch (TMC) lassen sich Werkstoffsysteme auf ihre Umformeigenschaften hin untersuchen. Der Versuchsaufbau ist dabei an den Durchstoßversuch nach DIN EN ISO 6603-02 [4] angelehnt. In diesem Versuch wird ein Prüfkörper auf einem Kolben appliziert und geschwindigkeitsgeregelt über einen fest gelagerten Stempel umgeformt (Bild 4). Zur Temperierung des Prüfkörpers umschließt ein Konvektionsofen den gesamten Versuchsaufbau. Während der Umformung wird der Prüfkörper planar, uniaxial und biaxial deformiert und die dabei nö-

tige Umformkraft sowie der Deformationsweg bis zum Versagen bzw. Riss des Prüfkörpers oder dem Erreichen des maximal vorgegebenen Deformationswegs als integrale Messwerte aufgezeichnet. Die dabei auftretenden Deformationsmoden entsprechen der Umformung innerhalb des Thermoformprozesses. Die aufgenommenen Kraft-Weg-Kurven können somit gut für die allgemeine Beschreibung der Umformbarkeit, aber auch zur Materialcharakterisierung für die Thermoformsimulation von Standardthermoformhalbzeugen wie auch solcher für das Hybrid-Thermoformen eingesetzt werden [5].

Bei der Additivierung von Halbzeugen, wie beispielsweise mit gut wärmeleitenden Funktionszusatzstoffen, ermöglicht der Versuch eine anschauliche Untersuchung des Einflusses der Matrix- oder Füllstoffsysteme auf die Umformeigenschaften der Thermoformhalbzeuge. Bild 5 zeigt exemplarische Kraft-Weg-Kurven der Kunststoffsysteme aus Polystyrol mit steigendem Anteil an Grafitpulver, die in TMC-Versuchen bei 140 °C Prüftemperatur er-

mittelt wurden. Bei beiden Polystyroltypen steigt mit zunehmendem Füllstoffgehalt die nötige Umformkraft an, während der maximale Deformationsweg reduziert wird. Dies bestätigt den in Bild 3 beschriebenen Einfluss der Füllstoffe auf die Fließfähigkeit und Bruchdehnung auch für die Umformeigenschaften beim Thermoformen qualitativ.

Zudem lassen sich mit diesen Ergebnissen die Umformeigenschaften für den Thermoformprozess beurteilen. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch den Anstieg der nötigen Umformkräfte bei steigendem Füllstoffgehalt die Ausformschärfe der Hybrid-Bauteile verschlechtert wird. Die Reduzierung der maximalen Deformationswege weist außerdem darauf hin, dass mit steigendem Füllstoffgehalt geringere Verstreckgrade erreicht werden können. Speziell in Hinblick auf das Hybrid-Thermoformen kann darüber hinaus erwartet werden, dass der Einleger mit steigendem Füllstoffgehalt nicht mehr optimal umformt werden kann und somit eine Reduzierung der Verbundfestigkeit zwischen Einleger und Kunststoffkomponente erfolgt.

Vergleicht man die Kraft-Weg-Kurven aus Bild 5 in Hinblick auf die verwendete Kunststoffmatrix, ist zudem der Einfluss der Viskosität der unterschiedlichen Polystyroltypen erkennbar. Es ist ersichtlich, dass die nötigen Umformkräfte der niedrigviskosen Polystyroltype PS1 geringer ausfallen als die der höherviskosen Polystyroltype PS2, womit eine bessere Umformfähigkeit erwartet werden kann. Somit lassen sich die nötigen Umformkräfte bei steigendem Füllstoffanteil durch die Verwendung niedrigviskoser Matrixwerkstoffe reduzieren, womit sich die Umformfähigkeit verbessern lässt.

Der TMC-Versuch bietet (wie auch bereits in [6, 7] beschrieben) eine Messmethodik, die sehr nah an dem realen Verar-

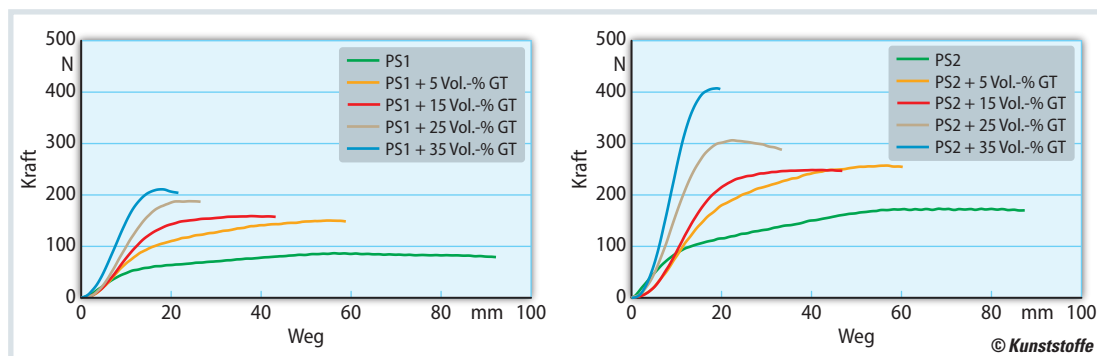


Bild 5. Füllstoffeinfluss auf die Kraft-Weg-Kurven im TMC-Versuch bei 140 °C: links PS1, rechts PS2 (Quelle: IKT)

beitungsverfahren des Thermoformens angelehnt ist. Dadurch wird eine Vorhersage des Thermoform- bzw. Umformverhaltens unterschiedlicher Kunststoff- und somit auch gefüllter Werkstoffsysteme ermöglicht. Die Kraft-Weg-Kurven stellen dabei integrale Messwerte dar, in denen immer gleich mehrere Deformationsmoden überlagert sind. Außerdem können mit dem TMC-Versuch und einem Reverse-Engineering-Ansatz die Materialkennwerte für die Thermoformsimulation ermittelt werden [5].

Anforderungen an die Halbzeuge

Neben der allgemeinen Umformbarkeit der Werkstoffsysteme müssen beim Hybrid-Thermoformen noch zusätzliche Anforderungen an die Halbzeugeigenschaften beachtet werden. So sollte, um einen dauerhaften Verbund zwischen Einleger und Kunststoff gewährleisten zu können, das Maß der Eigenspannungen über den Prozess sowie den Werkstoff eingestellt werden. Rissbildung als Folge erhöhter Eigenspannungen ist zu vermeiden. Durch die Additivierung der Halbzeuge können die Ausdehnungskoeffizienten von Einleger und Kunststoff angeglichen werden, was wiederum zu einer Reduktion der Eigenspannungen führt. **Bild 6** zeigt exemplarisch den Einfluss von Funktionszusatzstoffen auf deren Ausdehnungskoeffizienten. Bereits bei einem geringen Füllstoffanteil sinkt der Ausdehnungskoeffizient. Hierbei spielt nicht nur die Werkstoffzusammensetzung, sondern auch die Zusatzstofforientierung eine wichtige Rolle.

Zudem wurde der Einfluss des Füllstoffgehalts auf die Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffsysteme untersucht. Durch

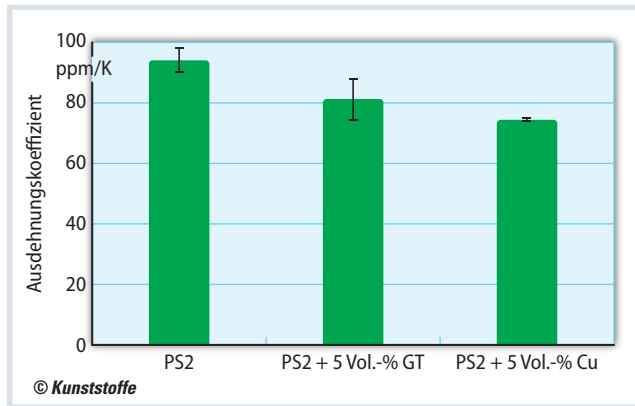


Bild 6. Füllstoffeinfluss auf den Ausdehnungskoeffizient (Quelle: IKT)

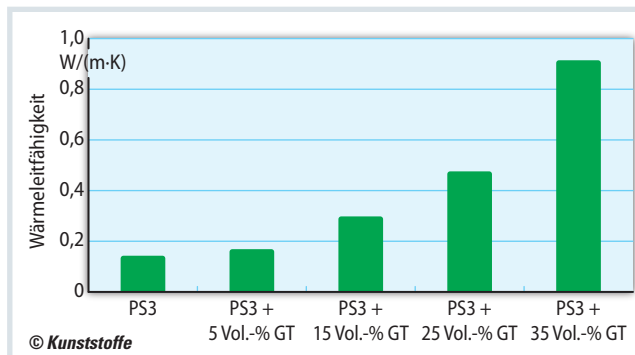


Bild 7. Füllstoffeinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der Halbzeuge aus PS3 in Dickenrichtung (Quelle: IKT)

die Additivierung der Polystyrole konnte die Wärmeleitfähigkeit der Halbzeuge in Dickenrichtung bis auf das Sechsfache des Ausgangswerkstoffes gesteigert werden (**Bild 7**).

Fazit

Der Hybrid-Thermoformprozess bietet großes Potenzial für die Herstellung technischer Bauteile mit erhöhter Funktionsintegration. In Kombination mit wärmeleitfähigen Kunststoffsystemen kann das Verfahren zudem noch Funktionen im Abwärmemanagement erfüllen. Die

Verarbeitung gefüllter, wärmeleitfähiger Kunststoffe ist dabei bereits beim aktuellen Stand der Technik möglich und kann auch bei der Herstellung von Hybrid-Thermoformbauteilen verwendet werden. Hinsichtlich der Werkstoffkomposition gelten neben der allgemeinen Umformneigung zudem noch weitere Anforderungen, die sich jedoch durch geeignete Prüfmethode charakterisieren und beherrschen lassen. Oftmals ist dabei ein Kompromiss zwischen einer guten Verarbeitbarkeit und zusätzlicher Funktionen, wie beispielsweise einer erhöhten Wärmeleitfähigkeit, erforderlich. ■

Unsere Kompetenz für Ihren Erfolg.
Advanced Technology. Die nächste Evolutionsstufe für Polymerpumpen.

WITE PUMPS & TECHNOLOGY
PUMPS & TECHNOLOGY

Im Vergleich zum klassischen Design:

- Verbesserter Wirkungsgrad
- Weniger Energieeintrag
- Flansche in EN und ANSI verfügbar
- Geringere Druckverluste

WITE PUMPS & TECHNOLOGY GmbH
Lise-Meitner-Allee 20
25431 Tenisch

TEL: 04130 70 65 9-0
www.wite-pumps.com
sales@wite-pumps.de