

Dem Druck standhalten

Ressourceneffizientere Werkstoffe für das Thermoformen

Entgegen der aktuellen öffentlichen Wahrnehmung stellen Kunststoffe auch als Bestandteil von Verpackungsmaterialien in vielen Fällen die ökologisch sinnvollste Variante dar. Die Kunststoffindustrie durchläuft derzeit einen Wandel, den Fokus sowohl auf die Realisierung geschlossener Wertstoffkreisläufe als auch auf die Verringerung des Ressourceneinsatzes durch hocheffiziente Werkstoffe zu verlegen.

Mithilfe zweckmäßig gestalteter Verpackungen können Lebensmittel effizient geschützt werden, ohne den ökologischen Fußabdruck eines Produkts nennenswert zu vergrößern [1]. Flexible Kunststoffverpackungen sind anderen Werkstoffen wie Glas und Karton in vielen Aspekten überlegen. Während man mit 1 kg Kunststoff etwa 56 kg Produkt verpacken kann, ist es bei gleichem Ressourceneinsatz mit Karton lediglich die Hälfte, bei Glas sogar nur 1/30 dieser Menge [2].

Auch hat in den letzten 20 Jahren allein in Deutschland durch das veränderte Konsumverhalten die Menge der mit Lkw transportierten verpackten Konsumgüter um etwa die Hälfte zugenommen, bei gleichzeitigem Anstieg der Transportentfernungen [3]. Dies macht eine zusätzliche Einsparung von Verpackungsgewicht zu einem nicht zu unterschätzenden Hebel für die Ressourcenschonung.

Stand der Technik

Einen wichtigen und sehr vielseitigen Vertreter von Kunststoffen im Bereich der Verpackungsmaterialien stellt Polypropylen (PP) dar, was sich in einem hohen Anteil von ca. 19% am europäischen Kunststoffmarkt niederschlägt [4]. Wenn man nur den Sektor der flexiblen Verpackungen betrachtet, sind es sogar 30% [5]. Dies ist vor allem auf Eigenschaften des Werkstoffs wie seine sehr gute chemische Resistenz, geringe Wasserdampfdurchlässigkeit sowie die gegenüber Polyethylen höhere mechanische Festigkeit zurückzuführen [6]. Nachteil ist das für teilkristalline Kunst-



Um das Einsparpotenzial der Rezepturen für Thermoformfolien unter Laborbedingungen prüfen zu können, wurde ermittelt, welchen Stauchwiderstand die aus den Halbzeugen hergestellten Becher einer Verformung entgegenseetzen © IKT

stoffe übliche enge Verarbeitungsfenster [7], sodass gerade beim Thermoformen oft amorphe Kunststoffe, wie beispielsweise Polystyrol, vorgezogen werden.

Ziel eines Forschungsprojekts des Instituts für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart und der Constab Polyolefin Additives GmbH, Rütten, ist es, das »

Bild 1. Folienabzug
mittels Kalandrier-
einheit © IKT



Eigenschaftsprofil von Polypropylen für zur Herstellung thermoformbarer Folienhalbzeuge durch den Einsatz vollständig mischbarer Blendpartner zu verbessern. Hierbei soll einerseits die zur Verarbeitung notwendige Wärmeenergie verringert sowie das Verarbeitungstemperaturfenster vergrößert werden. Andererseits soll die mechanische Performance des Produkts derart verbessert werden, dass die Wanddicke der Verpackung reduziert und damit der Werkstoffeinsatz verringert werden kann. Die entwickelten Blends sollen dabei mithilfe konventioneller Extrusion als Drop-in-Lösung verarbeitbar sein.

Herstellung von thermoformbaren Folienhalbzeugen

Um die positiven PP-Eigenschaften noch stärker herauszuarbeiten, wurden vom

Versuch	Basiswerkstoff	Additiv A	Additiv B
1	100 % PP	–	–
2	90 % PP	10 % M1	–
3	90 % PP	10 % M2	–
4	90 % PP	5 % M1	5 % M2
5	87,5 % PP	10 % M1	2,5 % M3
6	90 % PP	5 % M1	5 % M3
7	95 % PP	5 % M3	–
8	92 % PP	5 % M3	3 % M4
9	92 % PP	5 % M1	3 % M4
10	87 % PP	10 % M1	3 % M4
11	97 % PP	3 % M4	–

Tabelle 1. Übersicht der verschiedenen Folienrezepturen des Screenings Quelle: IKT

Projektpartner Constab zunächst Masterbatches im Technikumsmaßstab hergestellt. Hierbei handelt es sich jeweils um Blendwerkstoffe auf PP-Basis sowie einen vollständig mit dem Basiswerkstoff mischbaren Blendpartner. Aus den daraus resultierenden Blends wurden in einem Screening eine Vielzahl verschiedener Folienrezepturen gemeinsam zwischen den Projektpartnern IKT und Constab definiert.

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Rezepturen, die sich als besonders zweckmäßig herausgestellt haben.

Die Rezepturen wurden in den Dicken 1 mm, 0,8 mm und 0,7 mm zu 300 mm breiten Folien extrudiert. Die Zugabe der Masterbatches erfolgt dabei gemeinsam mit dem Basiswerkstoff über den Haupttrichter des Extruders (PP Homopolymer: MFI 3 @230°C/2,16 kg, ein Laborextruder mit einem Schneckendurchmesser von 30 mm und einem L/D-Verhältnis von 25; Hersteller: Collin Lab & Pilot Solutions GmbH, Maitenbeth). Das Temperaturprofil am Extruder wurde für alle Versuche konstant gewählt, die Temperaturen am Zylinder und an der Düse variierten zwischen 190°C und 230°C. Die Breitschlitzdüse mit einer Breite von 300 mm verfügt über einen Kleiderbügelverteiler, der ebenfalls über vier separate Heizkreisläufe auf eine Düsentemperatur von 230°C geregelt wird. Der ausgetragene Schmelzefilm wird dann mit einer Kalandriereinheit (Typ 136/350, Hersteller: Collin) auf die gewünschte Dicke gebracht und bis zur Formstabilität heruntergekühlt. Die Walzeinheit (**Bild 1**) besteht aus einer Chillwalze (144 mm Durchmesser), einer Kühlwalze (72 mm) sowie einer Glättwalze

(72 mm). Während der Verarbeitung wurden die wichtigsten Maschinenparameter wie Motorstrom, Düsenvordruck und Durchsatz protokolliert und daraus der spezifische Energieverbrauch zur Verarbeitung der unterschiedlichen Folienrezepturen ermittelt.

Nach der Folienextrusion wurden die thermischen Eigenschaften mittels dynamischer Differenzkalorimetrie (DSC) mit einer DSC 2 (Hersteller: Mettler Toledo, Greifensee/Schweiz) untersucht. Dazu wurden aus den Folien Kreischips mit 4 mm Durchmesser ausgestanzt und in Aluminiumtiegelautomatisiert geprüft. Zum Start des Messzyklus wurde die Messkammer zunächst auf -80°C heruntergekühlt und 5 min auf dieser Temperatur gehalten, dann mit -10 K/min auf 240°C erhitzt und nach zweiminütiger isothermer Phase mit 10 K/min wieder auf -80°C abgekühlt, bevor der zweite Aufheizvorgang begann. Zur Auswertung der Veränderungen in der thermischen Charakteristik der Werkstoffe, beispielsweise der Schmelzenthalpie und somit der notwendigen Energie zum Aufschmelzen, wurde der zweite Heizzyklus herangezogen.

Untersuchung der Folien

Die Folien wurden anschließend in einer umfassenden Thermoformstudie zu Bechern umgeformt [8]. Hierzu wurde eine Laborthermoformanlage (Typ LDFG32b; Hersteller: Illig Maschinenbau GmbH & Co. KG, Heilbronn) eingesetzt. Für die Versuchsdurchführung kam ein temperiertes Negativbecherwerkzeug zum Einsatz. Wie im Ablaufplan des Thermoformprozesses (**Bild 2**) zu erkennen ist, fährt der Spannrahmen samt Folie zuerst zwischen die Heizstrahler, die die Folie bis in den Umformtemperaturbereich erhitzen. Die folgende Umformung wurde mit Druckluft und Vakuum zusammen mit einer mechanischen Vorstreckung realisiert. Den Stempel treibt ein Servomotor an, der das Material mit einer Geschwindigkeit von 500 mm/s und einem Verfahrweg von 73 mm in die Kavität des Werkzeugs vorstreckt. Die restliche Ausformung wird dann kurz nach dem Start der Vorstreckung durch die Kombination von Druckluft und Vakuum erreicht. Nach einer Haltephase beendet das Öffnen des Werkzeugs den Thermoformprozess. Die grundlegenden Parameter zeigt **Tabelle 2**.

Durch Variation von Heizzeit, Druck und Stempelposition sollten die bestmöglichen Parameter für jede Folienrezeptur gefunden werden, mit denen danach mindestens fünf Becher hergestellt wurden. Dafür wurde anhand einer Grundeinstellung ein Becher hergestellt und dessen Thermoformergebnis bewertet. Eine unzureichende Ausformschärfe, Durchblaslöcher, unzureichende Oberflächengüte oder ungleichmäßige Wanddickenverteilung führten in der ersten Qualitätsanalyse zum Ausschluss und Veränderung der Einstellparameter. Durch die gesammelten Erfahrungswerte konnte dann iterativ, zuerst durch Anpassen der Heizzeit und dann des Stempelwegs, die besten Einstellungen für jeden Werkstoff gefunden werden. Die Wanddickenverteilung der hergestellten Thermoformbecher wurde mit einem Dickenmessgerät (Panametrics Magna Mike 8500; Hersteller: Olympus, Mainz) ermittelt.

Zur Bewertung der Bauteilqualität wurde an den hergestellten Bechern der Stauchwiderstand nach DIN 55440-1 mit einer Universalprüfmaschine für Zug-,

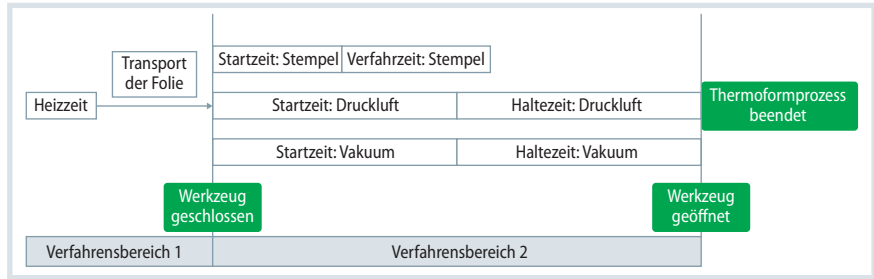


Bild 2. Prozessablauf beim Thermoformen © Quelle: IKT, Grafik: © Hanser

Druck-, und Biegeversuche (Typ: Zwick 1474; Hersteller: Zwick/Roell, Ulm) ermittelt. Der zwischen zwei Druckplatten platzierte Prüfkörper wird dabei durch das Herauffahren der unteren Druckplatte in axialer Richtung belastet (Vorschubgeschwindigkeit 10 mm/min ± 3 mm/min, Anfangslast bis zum Messstart 1 N). Die auftretenden Kräfte und den Verfahrensweg nimmt ein Kraft-Weg-Sensor auf, bis ein maximaler Stauchweg von 50 mm oder ein abrupter Widerstandskraftabfall von >20% den Prüfvorgang beendet. Von jeder Folienrezeptur wurden jeweils fünf Becher bei Normklima geprüft.

Analyse der Effizienzpotenziale durch die Modifikation

Welchen Einfluss die Masterbatches auf die Ressourceneffizienz der Werkstoffe haben, zeigt das Projekt anhand einer ganzheitlichen Bilanzierung auf. Dieser Beitrag stellt die Effizienzpotenziale anhand von je einem Beispiel dar: erreichte Energieeinsparung bei der Verarbeitung sowie Werkstoffeinsparpotenzial durch Verbesserung der Produkteigenschaften eines Bechers.

Die Messung der Schmelzenthalpien von Referenzwerkstoff und modifi- »



Heißkanal-Kompetenz für alle Branchen



HRSflow´s beste Lösung für Ihre spezielle Anwendung aus Logistik & Umwelt, Haushaltsgeräten, Technischen Anwendungen, Mobilität, Haushaltswaren & Gartenbau und natürlich Automobilbau.

Mit Bravour meistern wir jede Herausforderung des Marktes: von Standardkomponenten bis hin zu komplexesten Designanforderungen, von schnellen Farbwechseln über hohe Stabilität hin zu Leichtbau-Anwendungen und all das mit hoher Prozess- und Produktwiederholgenauigkeit.

hrsflow.com

HRSflow GmbH
Schwanheimer Ufer 302 -
60529 Frankfurt/Main - Deutschland
germany@hrsflow.com



Passion for expertise

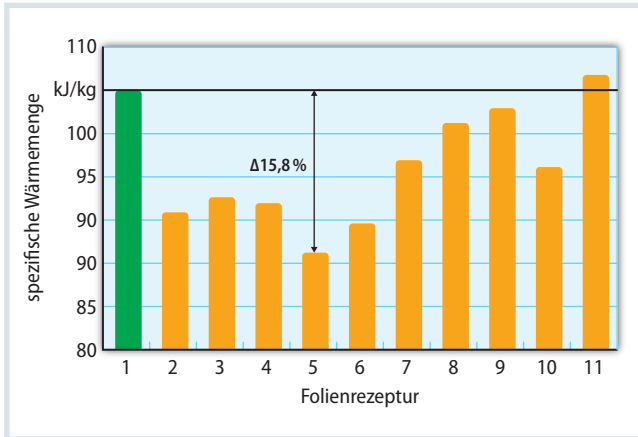


Bild 3. Gegenüber der Referenz (1) weisen die meisten Rezepturmodifikationen eine verringerte Schmelzenthalpie auf © Quelle: IKT, Grafik: © Hanser

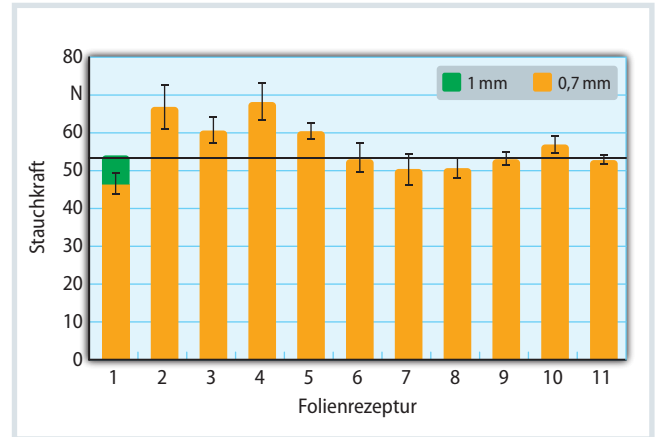


Bild 4. Erhöhung des Stauchwiderstands durch Zugabe von Masterbatches © Quelle: IKT, Grafik: © Hanser

Die Autoren

Felix Baumgärtner, M. Eng.: ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Verarbeitungstechnik des Instituts für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart; felix.baumgaertner@ikt.uni-stuttgart.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten leitet seit 2010 das IKT der Universität Stuttgart.

Dipl.-Ing. Sebastian Erlwein ist seit 2015 bei Constab Polyolefin Additives GmbH, Rüthen, im Bereich R&D / Technical Service tätig; S.Erlwein@constab.com

Dr. Andreas Strunk-Westermann ist seit 2013 Director Technical Services der Constab.

Dipl.-Ing. Olaf Allekotte ist seit 2016 Geschäftsführer der Constab.

Dank

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Förderkennzeichen AZ33771 gefördert. Weiterer Dank gilt den bei der Untersuchung beteiligten Studenten Frederik Gutbrod, Milan Fitzlaff, David Armbruster und Konstantin Flaig.

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-05

zierten Rezepturen (**Bild 3**) zeigt, dass die Modifikationen in den meisten Fällen eine Reduktion der Aufschmelzwärme erwarten lassen. Die Reduktion der Schmelzenthalpie ist dabei ein Maß für die zuzuführende thermische und mechanische Energie beim Extrusionsprozess und betrug maximal 15,8%. Darüber hinaus erforderte die Extrusion geringere Düsendrücke und damit einen um etwa 10 bis 20% geringeren mechanischen Energieeintrag. Mithilfe rheologischer Untersuchungen ließ sich dies auf eine verbesserte Fließfähigkeit der Blends zurückführen, die auch für den Thermoformprozess von Vorteil ist, da die hergestellten Folien bereits bei niedrigeren Temperaturen verarbeitet werden können, was wiederum bis zu 20% der Heizzeit einspart und das Verarbeitungstemperaturfenster verbreitert.

Das Werkstoffeinsparpotenzial macht eine Untersuchung des Stauchwiderstands der hergestellten Becher deutlich (**Bild 4**). Hierzu wird die maximale Stauchkraft der 1 mm dicken Referenzfolie (53,6 N) mit den 0,7 mm dicken Thermoformfolien der neuen Rezepturen verglichen, mit denen sich Maximalkräfte von bis zu 66,5 N erreichen ließen. Dies entspricht einer Steigerung der Stauchkraft um 24% bei gleichzeitiger Reduzierung der Wanddicke um 30%.

Der erhöhte Stauchwiderstand der Becher ist dabei einerseits auf die Erhö-

hung der Werkstoffsteifigkeit zurückzuführen, andererseits wird durch die Zugabe der Masterbatches die Thermoformbarkeit des PP optimiert, sodass sich eine gleichmäßigere Wanddickenverteilung ergibt.

Fazit und Ausblick

Die Thermoformergebnisse zeigen, dass durch geeignete Modifikation von Polypropylen eine Materialeinsparung von mehr als 30% möglich ist. Dies wird durch eine verbesserte Thermoformbarkeit der Blends erreicht, die sich in einer gleichmäßigeren Wanddickenverteilung widerspiegelt. Ebenso wurde durch die Zugabe der Masterbatches des Projektpartners Constab eine Verringerung der Schmelzenthalpie erreicht, was eine Energieeinsparung von bis zu 15% im Folienextrusionsprozess ermöglicht. Die entwickelten Werkstoffe sind klassischem Polypropylen im Hinblick auf die Ressourcenschonung eindeutig überlegen.

Innerhalb der restlichen Projektlaufzeit soll nun getestet werden, wie sich ausgewählte Rezepturen bei einem Scale-up auf einen industriellen Thermoformprozess im Serienmaßstab verarbeiten lassen. Des Weiteren wird geprüft, inwieweit sich die positiven Ergebnisse auf biobasierte Kunststoffe wie Polylactide (PLA) transferieren lassen. ■

Startzeit		Haltezeit			Temperatur	
Stempel	Druck	Vakuum	Druck	Vakuum	Werkzeug	Heizelemente 1–8
0,5 s	1 s	1 s	10 s	10 s	70 °C	450 °C

Tabelle 2. Nicht variierte Prozessparameter © Quelle: IKT