

# Die Durchsicht im Blick

## Hochtransparente Hohlkörper mittels Twin-Sheet-Thermoformprozess herstellen

Eine besondere Herausforderung beim Twin-Sheet-Thermoformen besteht in der Herstellung hochtransparenter Bauteile. Dabei haben die verwendeten Werkstoffsysteme und die Werkzeugtechnik sowohl Einfluss auf den Verarbeitungsprozess als auch auf die produktspezifischen Anforderungen wie beispielsweise die optischen und mechanischen Bauteileigenschaften.



Transparenter Hohlkörper: Hergestellt mit einem Twin-Sheet-Versuchswerkzeug zur Erzeugung verschiedener Oberflächenbeschaffenheiten © Linbrunner Thermoformung

Mit dem Twin-Sheet-Thermoformen existiert ein kombinierter Thermoform- und Schweißprozess, mit dem innerhalb eines Prozessschrittes komplexe Bauteilstrukturen wie z.B. behälterartige Produkte auch in geringen Stückzahlen wirtschaftlich hergestellt werden können. Somit wird im Vergleich zum klassischen

„Single-Sheet Thermoformen“ eine Funktions- und Prozessintegration erreicht. Die Fertigung von hochtransparenten, doppelwandigen Bauteilen durch den Twin-Sheet-Thermoformprozess ist jedoch nur sehr eingeschränkt möglich. Ein mögliches Anwendungsfeld für solche hochtransparente Hohlkörper stellen

doppelwandige Kunststoffenster mit Isolationswirkung wie z.B. Caravanfenster dar (**Titelbild**). Diese werden aktuell in einem zweistufigen Thermoform- und anschließendem Klebeprozess hergestellt – inkl. manueller und kostenintensiver Prozessschritte. Deshalb forscht das Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT) zusammen mit der Firma Linbrunner Thermoformung an einer Verfahrensvariante zur Herstellung hochtransparenter Bauteile durch das Twin-Sheet-Thermoformen (**Bild 1**).

### Anforderungen an die Werkstoffe

Zur Produktion solcher Hohlkörper werden spezielle Thermoformhalbzeuge benötigt. Das verwendete Werkstoffsystem bestimmt dabei die Bauteileigenschaften, beeinflusst aber auch gleichermaßen den Verarbeitungsprozess. Da es sich beim Twin-Sheet-Thermoformen um einen kombinierten Thermoform- und Schweißprozess handelt, bestimmen auch diese beiden Prozessschritte die Anforderungen an die verwendeten Werkstoffsysteme. Für die verwendeten Kunststoffhalbzeuge gelten somit die gleichen Mindestanforderungen an das Werkstoffsystem wie beim klassischen Single-Sheet-Thermoformen wie z.B. die hohe Abformgenauigkeit, eine möglichst geringe Durchhangneigung sowie eine gute Verstreckbarkeit bei der Umformtemperatur [1, 2, 3]. Darüber hinaus müssen die Kunststoffhalbzeuge neben diesen Mindestanforderungen an die Thermoformbarkeit auch über eine ausreichende Schweißbarkeit verfügen.

Beim Twin-Sheet-Thermoformen von hochtransparenten Bauteilen spielen auch die produktspezifischen Anforderungen, wie die optischen und ästheti-

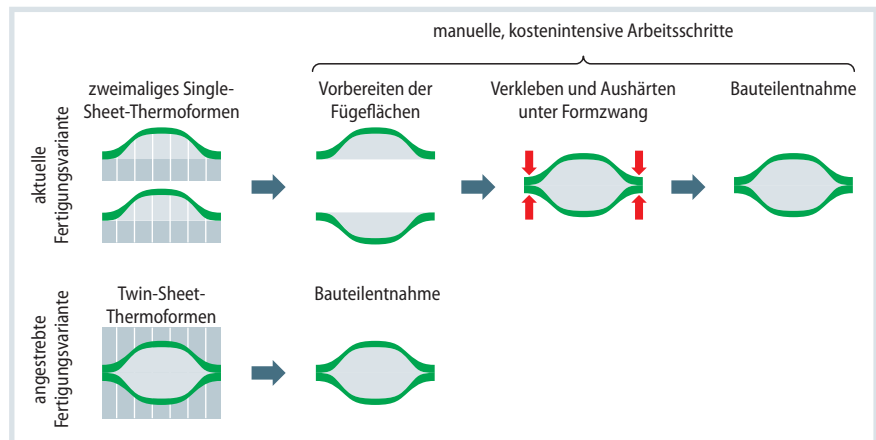
schen Eigenschaften (z.B. Lichtdurchlässigkeit, Glanzgrad oder die Durchsicht), eine wichtige Rolle für das verwendete Werkstoffsystem. Für die Produktion von hochtransparenten Bauteilen müssen auch hochtransparente Halbzeuge verwendet werden. Die optischen und ästhetischen Eigenschaften des Werkstoffsystems dürfen jedoch nicht durch den Umform- und Schweißprozess oder durch einsatzbedingte Umweltbedingungen (z. B. Temperaturwechsel, UV-Strahlung) beeinflusst werden.

### Werkzeugtechnik im Fokus

Nicht nur das Werkstoffsystem, sondern auch die eingesetzte Werkzeugtechnik können Einfluss auf die Transparenz der Bauteile haben. Beispielsweise finden zur Herstellung von hochtransparenten Bauteilen im Single-Sheet-Verfahren zum aktuellen Stand der Technik unterschiedlichste Verfahren und Sonderwerkzeuge, wie beispielsweise das Freiformen oder das Umformen mit einem Skelettwerkzeug, Einsatz [4]. Bei diesen Verfahren erfolgt die Formgebung ohne bzw. mit geringem Werkzeugkontakt, wodurch nur einfache Bauteilformen realisierbar sind.

Werden komplexere Bauteilgeometrien gefordert, steigen auch die Anforderungen an die Werkzeug- und Verfahrenstechnik (möglichst keine Vakuumborungen im Sichtbereich, geringe Halbzeugtemperatur etc.) [4, 5]. Diese Empfehlungen können aufgrund des Prozessablaufs nicht direkt auf das Twin-Sheet-Thermoformen übertragen werden, da beispielsweise eine zu geringe Halbzeugtemperatur eine verringerte Verbundfestigkeit der Bauteilhälften hervorrufen kann. Aus diesem Grund muss eine spezielle Werkzeugtechnik zur Herstellung hochtransparenter Hohlkörper entwickelt werden, welche auf das Twin-Sheet-Verfahren abgestimmt ist. Hierbei spielt neben der passenden Temperierung vor allem die Oberflächenbeschaffenheit des Werkzeugs eine wichtige Rolle.

Innerhalb des gemeinsamen Forschungsvorhabens wurde deshalb der Einfluss unterschiedlicher Umweltbedingungen und Werkzeugbeschaffenheiten auf die optischen, ästhetischen und mechanischen Eigenschaften untersucht. Herangezogen wurden dazu unter anderem die folgenden drei amorphen Thermoplaste, welche sich für das klassische



**Bild 1.** Herstellung doppelwandiger Caravanfenster: Prozessablauf der aktuellen im Vergleich zur angestrebten Fertigungsvariante Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

Umweltbedingungen	Temperatur	rel. Feuchte	Dauer	Standard	Bemerkungen
Sonnenstrahlung	42°C	20%	240 h	DIN 75220	entspricht ca. 1 Jahr in der Außenanwendung
Temperaturlagerung	70°C	20%	137 h	/	entspricht ca. 1 Jahr in der Außenanwendung
Feuchte-lagerung	42°C	85%	504 h	DIN EN 60068-2-78	
Kombination der Einflüsse	Einlagerung der Prüfkörper nacheinander unter allen aufgeführten Umweltbedingungen (Einlagerungszeit gesamt: 881h)				

**Bild 2.** Prüfbedingungen der verschiedenen Einlagerungsversuche zur Simulation der Umweltbedingungen für Bauteile in der Außenanwendung Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

Thermoformen eignen. Untersucht wurde ein glykolmodifiziertes Polyethylenterephthalat (PET-G) vom Typ Vivak der Firma Covestro, ein Polycarbonat (PC) vom Typ Makrolon GP der exolon Group, sowie eine am IKT hergestellte hochtransparente Polylactid-Folie (PLA) aus dem Biopolymer Ingeo 4032D der Firma Natu-

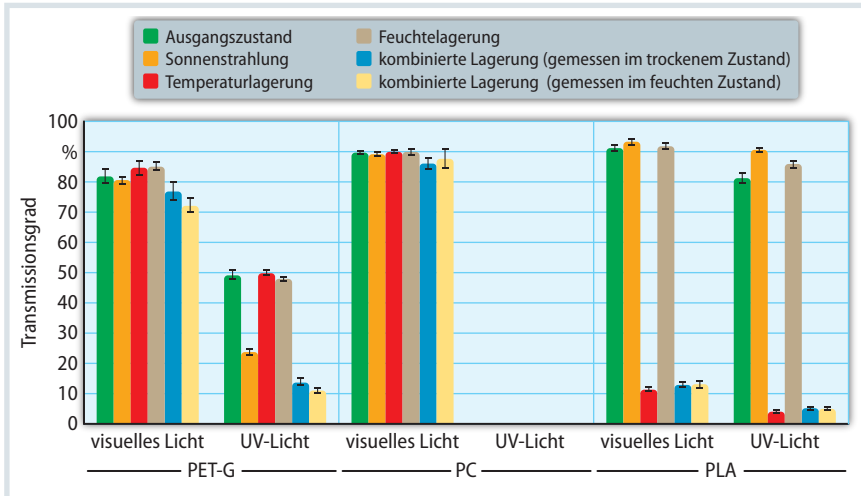
reWorks. Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Umweltbedingungen wurden hochtransparente Halbzeuge innerhalb einer Klimaprüfkammer vom Typ Atlas SC 1.000 MHG Solar Simulator der Atlas Material Testing Technology GmbH, einer simulierten Sonnenstrahlung, erhöhter Temperatur und einer erhöh- »

## Kooperationspartner

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) innerhalb des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (AiF-ZIM) geförderten Kooperationsprojekts forscht das Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT) gemeinsam mit der Linbrunner Thermoformungs-GmbH & Co. KG an der ganzheitlichen Entwicklung einer Verfahrensvariante zur Herstellung hochtransparenter Bauteile durch das Twin-Sheet-Thermoformen. Das IKT arbeitet seit knapp 60 Jahren in Lehre,

Forschung und industrieller Dienstleistung in allen Hauptbereichen der Kunststofftechnik: der Werkstofftechnik, der Verarbeitungstechnik wie auch in der Produktentwicklung. Die Linbrunner Thermoformung entwickelt seit über 25 Jahren Twin-Sheet Bauteile und besitzt langjährigen Expertise im Bereich der Auslegung bzw. Gestaltung von Twin-Sheet-Thermoformwerkzeugen aber auch der Fertigung von Twin-Sheet-Bauteilen.

- » [www.ikt.uni-stuttgart.de](http://www.ikt.uni-stuttgart.de)
- » [www.linbrunner.de](http://www.linbrunner.de)



**Bild 3.** Transmissionsgrad der Prüfkörper im Wellenlängenbereich des visuellen und UV-Lichts in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

ten Luftfeuchtigkeit sowie einer Kombination dieser Bedingungen ausgesetzt (Bild 2).

Für die Charakterisierung der Lichtdurchlässigkeit/Transparenz im Wellenlängenbereich des visuellen und des UV-Lichts wurde ein Transparenzmessgerät der Firma NanoTech Industrie Produkte, verwendet. Die Änderungen der mechanischen Eigenschaften wurden in Form eines Zugversuchs mithilfe einer Universalprüfmaschine der Firma ZwickRoell GmbH & Co. KG bestimmt.

Um den Einfluss der Werkzeugbeschaffenheit untersuchen zu können, wurden zudem Thermoformversuche mit unterschiedlichen Werkzeugoberflächen an einer Laborthermoformanlage vom Typ LDFG 23b der Firma Illig durchgeführt. Untersucht wurde dabei der Effekt einer sandgestrahlten, geschliffenen

und polierten Werkzeugoberfläche sowie einer Zwischenschicht aus Handschuhstoff zwischen Werkzeug und Halbzeug auf die optischen und ästhetischen Eigenschaften der Bauteile bei einer Umformung mittels Vakuum und Druckluft.

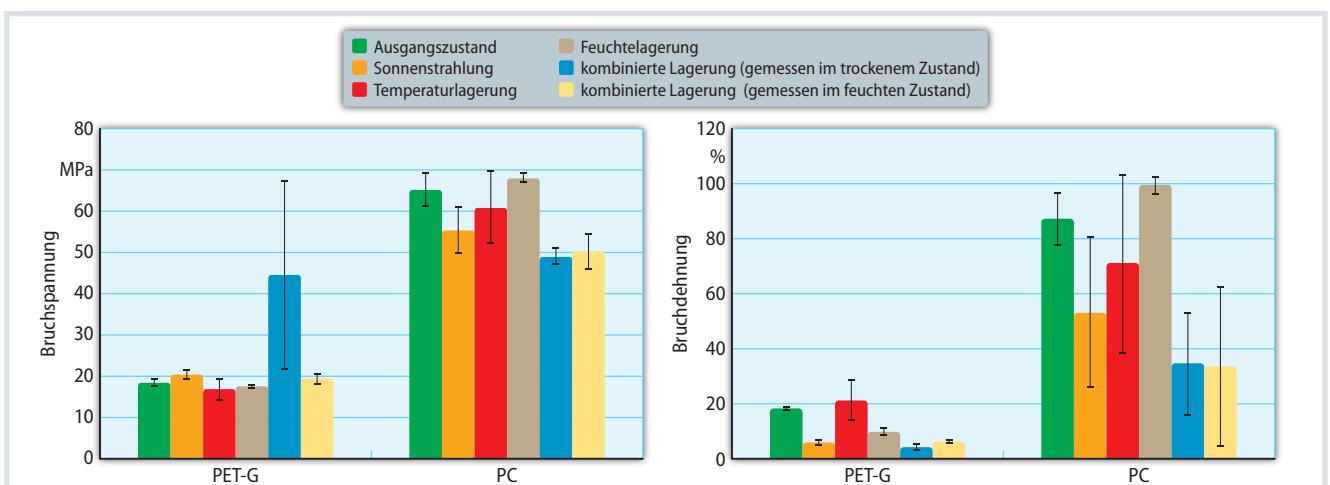
### Optische und ästhetische Eigenschaftsänderungen

Die Mittelwerte der durchgeführten Transparenzmessungen der Halbzeuge vor und nach der Lagerung sind in Bild 3 dargestellt. Bei Betrachtung der Messergebnisse des Polycarbonats ist erkennbar, dass dieser Werkstoff, wie auch aus dem Stand der Technik bekannt, kein UV-Licht transmittiert und daher in diesem Wellenlängenbereich keinen Transmissionsgrad besitzt. Auch durch die verschiedenen Einlagerungsversuche veränderte

sich dies nicht. Im Gegensatz dazu liegt der gemessene Transmissionsgrad des PC im visuellen Wellenlängenbereich im unbehandelten Zustand bei ca. 89 %, zeigte in Abhängigkeit von den aufgeprägten Umweltbedingungen jedoch nur geringfügige Änderungen. Bei Betrachtung der Prüfkörper nach der simulierten Sonnenstrahlung wird jedoch deren Einfluss auf das PC deutlich. Nach den Einlagerungsversuchen weisen die Prüfkörper eine leichte Gelbfärbung auf.

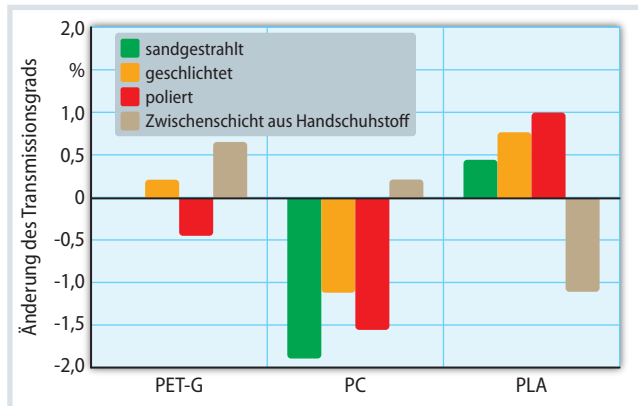
Im Vergleich zum PC ergaben sich nach den durchgeführten Einlagerungsversuchen beim untersuchten PET-G jedoch größere Unterschiede bei der Messung des Transmissionsgrads. Dies wird vor allem im UV-Wellenlängenbereich deutlich (Bild 3). Auch im sichtbaren Wellenlängenbereich führen die beiden kombinierten Einlagerungsarten zu einer Reduzierung der Lichtdurchlässigkeit von ca. 81 % im unbehandelten Zustand auf ca. 71,5 %, gemessen im feuchten Zustand (Bild 3). Ähnlich wie beim PC ist auch beim PET-G eine deutliche Gelbfärbung nach der Lagerung bei Sonnenstrahlung und den kombinierten Einflüssen zu beobachten.

Auch beim PLA wird der Transmissionsgrad durch die Einlagerungsversuche zum Teil signifikant beeinflusst. Auffällig ist dabei der Einfluss der Temperaturlagerung und der beiden kombinierten Umweltbedingungen auf die Durchsicht der Prüfkörper. Diese Einlagerungsarten führen zu einer Reduktion der Lichtdurchlässigkeit auf bis zu ca. 4 %. Dabei weisen die Prüfkörper eine milchig-weiße Verfärbung auf, welche durch Kristallisationsvorgänge ausgelöst werden kann. Neben



**Bild 4.** Änderung der Bruchspannung und Bruchdehnung in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

**Bild 5.** Einfluss der Werkzeugbeschaffenheit auf den Transmissionsgrad der Bauteile im visuellen Wellenlängenbereich: prozentuale Änderung zum Halbzeug Quelle: IKT; Grafik: © Hanser



den optischen und ästhetischen wurden zudem auch die mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von den verschiedenen Umwelteinflüssen untersucht. Werden hier die Bruchspannung und die Bruchdehnung des PC betrachtet, zeigt sich, dass die Sonnenstrahlung und die beiden kombinierten Einflüsse diese zwei Kennwerte deutlich reduzieren. Im Gegensatz dazu werden diese Werte durch die Lagerung bei erhöhter Luftfeuchtigkeit (gemessen im feuchten Zustand) erhöht. Es ist außerdem erkennbar, dass in Abhängigkeit von den Einlagerungsversuchen die mechanischen Kennwerte beim PC einer größeren Streuung unterliegen.

Auch beim PET-G zeigen sich deutliche Unterschiede bei der Bruchspannung, welche sowohl durch die Sonnenstrahlung als auch bei den beiden kombinierten Einflüssen erhöht ist. Vor allem nach der kombinierten Einlagerung, gemessen im getrockneten Zustand, nimmt diese einen signifikant höheren Werte an (Bild 4). Neben der Bruchspannung wurde auch die Bruchdehnung des PET-G durch diese drei Einlagerungsversuche stark verändert. Jedoch ist hier eine deutliche Abnahme der Bruchdehnung erkennbar.

### Die Werkzeugoberfläche wirkt sich auf die Durchsicht aus

In Bild 5 ist der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheiten des Werkzeugs auf die Lichtdurchlässigkeit im visuellen Wellenlängenbereich zu sehen. Der höchste Transmissionsgrad wurde beim PLA mit der geschichteten Oberfläche, der niedrigste Transmissionsgrad beim Bauteil aus PC, welches mit der sandgestrahlten Oberfläche geformt wurde, ermittelt. Tendenziell besitzen die Polycarbonate

nach der Umformung eine etwas geringere Transmission als das PLA und das PET-G. Jedoch sind keine signifikanten Unterschiede des Transmissionsgrads in Abhängigkeit von den Werkzeugbeschaffenheiten zu erkennen (Bild 5).

Wird allerdings eine subjektive Bewertung der ästhetischen Eigenschaften durchgeführt, zeigen sich deutliche Unterschiede bei der Durchsicht je nach Werkzeugbeschaffenheit bzw. Zwischenschicht. Die mit der Stoffvariante umgeformten Bauteile zeigen hier eine deutliche Verringerung der Durchsicht. Diese entsteht durch die Abbildung der Handschuhstoffstruktur auf der Bauteiloberfläche. Dennoch spiegeln die Ergebnisse der Transmissionsgradmessung diese subjektiven Eindrücke nicht wider. So ist der Transmissionsgrad der Stoffvarianten bei den Werkstoffen PET-G und PC sogar der höchste.

### Fazit

Der Twin-Sheet-Thermoformprozess bietet großes Potenzial für die Herstellung von komplexen, großflächigen, behälter-

artigen Bauteilen, auch bei geringen Stückzahlen. Bei der Herstellung hochtransparenter Bauteile müssen dabei hinsichtlich der Werkstoffsysteme sowie der Werkzeug- und Verfahrenstechnik jedoch neben der allgemeinen Umform- und Schweißtechnik zudem noch weitere Anforderungen beachtet werden.

Oftmals ist dabei ein Kompromiss zwischen einer guten Verarbeitbarkeit und ausreichenden optischen und ästhetischen Eigenschaften erforderlich. Dabei muss nicht nur auf die gemessene Lichtdurchlässigkeit, sondern auch auf die subjektiven, visuellen und ästhetischen Eindrücke geachtet werden, da durch die Messung des Transmissionsgrads keine Änderungen durch den Thermoformprozess zu erkennen waren. ■

## 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

**Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten**, ist Leiter des IKT der Universität Stuttgart.

**Caroline Linbrunner** ist Geschäftsführerin der Linbrunner Thermoformungs-GmbH & Co. KG; info@linbrunner.de

## Service

### Literatur & Digitalversion

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

**Ob Fördern, Separieren, Stapeln oder Verteilen – in SCHUMA finden Sie den richtigen Partner.**

Wir stellen aus auf der FAKUMA: Halle A3 / Stand 3103

SCHUMA Maschinenbau GmbH | Fon +49 (0) 73 33/96 09-0 | [www.schuma.com](http://www.schuma.com)