

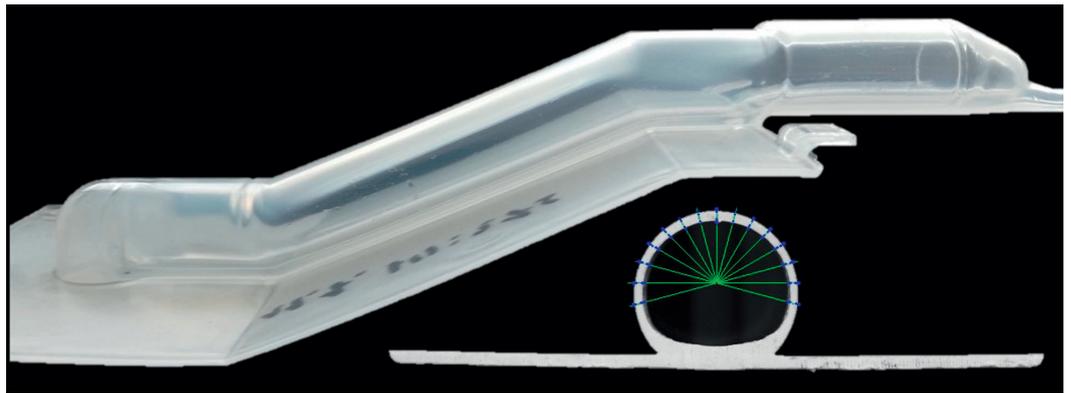
Weiterentwicklung des GITBlow-Verfahrens mit spritzgießtypischen Bauteilgeometrien

Mit höchster Präzision im Spritzgießwerkzeug aufgeblasen

Im Spritzgieß-Sonderverfahren GITBlow wird ein Formteil in einem zweistufigen Prozess innerhalb eines Spritzgießzyklus aufgeblasen. Durch eine Kombination aus Simulation und analytischer Berechnung eines Feder-Dämpfer-Modells der vorherrschenden Temperatur- und Ausgangsbedingungen und mit einem definierten Werkzeughandling ist es möglich, auch teilkristalline Materialien mit einem sehr schmalen Umformtemperaturbereich im Werkzeug aufzublasen.

Das funktionalisierte, vollständig aufgeblasene GITBlow-Bauteil aus PP weist laut Messung und Bildanalyse eine homogene Wanddicke auf.

© KTP



Die Bedeutung leichtgewichtiger Bauteilstrukturen nimmt bei industriell gefertigten Produkten einen immer größeren Stellenwert ein. Anstiege der Energie- und Materialpreise zwingen die Industrie zudem zu einem effizienteren Umgang mit Ressourcen. Das an der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) entwickelte Spritzgieß-Sonderverfahren GITBlow [1] kann hierzu durch eine besondere Art der Prozessführung einen Beitrag leisten. Es erlaubt die Herstellung leichtgewichtiger Strukturen, die durch großvolumige, komplexe Hohlräume und geringe Wanddicken gekennzeichnet sind. Hierzu werden die Einzelprozesse Gasinjektionstechnik (GIT) und Blasformen (Blow) in einem Verfahrensschritt kombiniert, indem zwei aufeinanderfolgende Gasinjektionen und zwei unterschiedlich große Kavitäten in einem Werkzeug genutzt werden.

Bauteile, die das GIT-Verfahren und Blasformen allein jeweils nicht hergeben

Die Herstellung eines GITBlow-Bauteils (**Bild 1**) beginnt mit dem Spritzgießen des Preforms und der nachfolgenden ersten Gasinjektion. Dazu wird das aus der Gasinjektionstechnik bekannte Nebenkavitätenverfahren eingesetzt. Die Hauptkavität mit den spritzgießtypischen Funktionselementen wird zunächst vollständig mit Schmelze gefüllt. Ein hydraulischer Kernzug öffnet anschließend den Zulauf zur Nebenkavität, sodass der flüssige Schmelzekern durch die anschließende Gasinjektion aus dem Bauteil in die Nebenkavität geleitet wird (Schritte 1 und 2).

Während der Gashaltezeit wird die Schwindung des abkühlenden Preforms durch einen anhaltenden Gasdruck im Hohlrauminneren ausgeglichen.

Da der Preform im GITBlow-Prozess zwischenzeitlich nicht wieder erwärmt wird, gilt es die Restkühlzeit materialspezifisch so auszulegen, dass die Restwärme für die nachfolgende Handlingphase und den Aufblasvorgang ausreicht. In der Handlingphase fährt das Werkzeug auf, wobei der Preform in der Kavität auf der beweglichen Auswerferseite verbleibt. Mithilfe eines Drehtellers wird die Werkzeughälfte anschließend um 180° gedreht, sodass der Preform auf die Position der zweiten, düsenseitig größeren Aufblaskavität transportiert wird, aus der das Endprodukt aus dem Parallelzyklus soeben entformt wurde (Schritte 3 und 4). Nach Ablauf einer definierten Handlingzeit schließt das Werkzeug und der Hohlraum des Preforms wird infolge der zweiten Gasinjektion expandiert (Schritt 5).

Der so in zwei Teilschritten entstehende, geschlossene und dünnwandige Hohlraum (**Bild 2**) lässt sich mit reiner Gasinjektionstechnik nicht in dieser Größe herstellen. Beim Blasformprozess hingegen ist die Designfreiheit hinsichtlich der Fertigungstoleranzen beschränkt, weil hier die Wanddicke prozessbedingten Schwankungen unterworfen ist. Das GITBlow-Verfahren eliminiert diese Nachteile und ermöglicht die Produktion von Bauteilen mit lokalen, dünnwandigen Hohlräumen und angebundenen funktionalen Geometrien mit spritzgießtypischer Maßgenauigkeit.

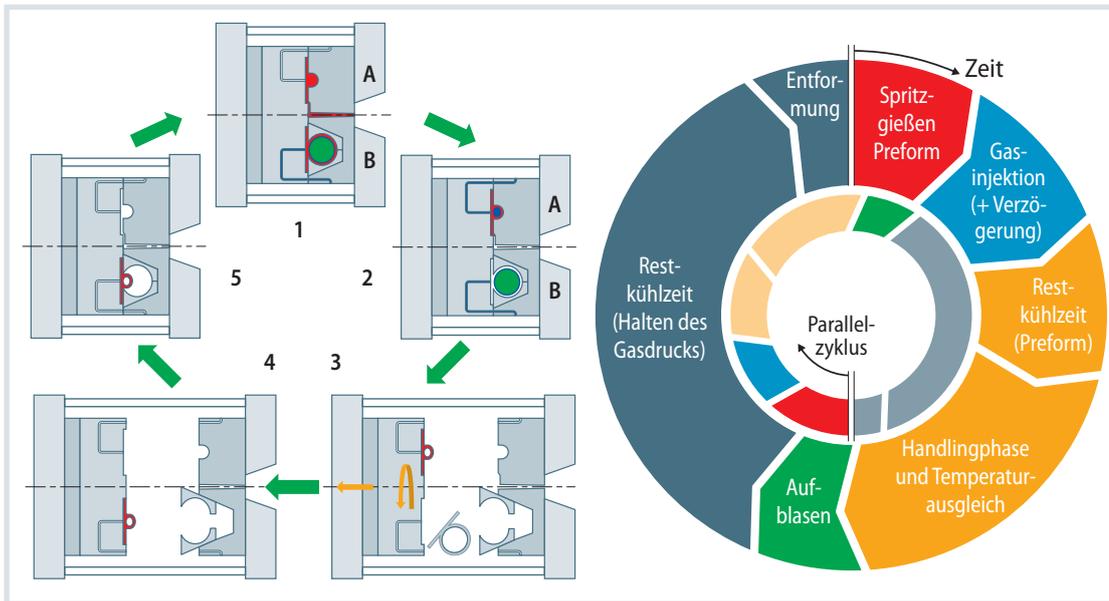


Bild 1. Prozessablauf des zweistufigen GITBlow-Verfahrens [2]. Dabei werden zwei aufeinanderfolgende Gasinjektionen und zwei unterschiedlich große Kavitäten genutzt. Quelle: KTP; Grafik: © Hanser

Drei aufeinander aufbauende Simulationsschritte

Vorangegangene Arbeiten [2 – 5] konzentrierten sich auf die Analyse des Prozessverhaltens amorpher Materialien. Dabei wurde das Verfahren durch verschiedene Berechnungsschritte beschrieben und experimentell validiert. Ziel einer Simulation ist es, die resultierenden Wanddicken der Bauteile im Vorhinein berechnen zu können. Dies bedeutet, dass drei aufeinander aufbauende Simulationsschritte durchgeführt werden, die sich am Ablauf des Verfahrens orientieren. Diese sind im Einzelnen:

- die Preformproduktion im GIT-Verfahren – Simulation mittels FEM und der Software Autodesk Moldflow;
- der Temperaturausgleich durch Wärmetransport – Simulation mittels FEM und der Software Abaqus (Dassault Systèmes);
- das Aufblasen mit der zweiten Gasinjektion – Simulation mittels Feder-Dämpfer-Modell.

Die erste Prozessphase im GITBlow-Verfahren ist die von rheologischen Fließprozessen dominierte Einspritz- und Gasinjektionsphase. Hier wird durch eine CFD-Simulation mit der Software Autodesk Moldflow untersucht, welche Parameter die Wanddickenverteilung beeinflussen.

Die Temperaturverteilung zum Zeitpunkt des Aufblasens ist der wichtigste direkte Einflussfaktor für das Aufblasverhalten und kann durch verschiedene Verfahrensparameter beeinflusst werden. Die Temperatursimulation dient bei der Modellierung des GITBlow-Prozesses als Ausgangspunkt für die nachfolgende Berechnung des Feder-Dämpfer-Modells, indem das Temperaturprofil als Eingangsgröße für die Aufblassimulation genutzt wird. Ausgangspunkt für die Simulation der Temperaturentwicklung im Querschnitt des GITBlow-Preforms ist die Wanddickenverteilung, die aus der Simulation der Gasinjektion hervorgeht.

Rein planare Verstreckung

Beim GITBlow-Prozess tritt im Gegensatz zum artverwandten Streckblasformen eine rein planare Verstreckung auf, da sich die Verformung auf die Ebene des Bauteilquerschnitts beschränkt und die Bauteilabmessungen in Längsrichtung konstant bleiben.

Dies ermöglicht die modelltheoretische Abbildung durch ein Feder-Dämpfer-Modell, mit dem die Wanddickenhomogenität des aufgeblasenen Bauteils berechnet werden kann. Das Modell nutzt materialspezifische mechanische Kennwerte, verknüpft die viskosen und viskoelastischen Aspekte des Kunststoffes über eine Parallelschaltung, schließt damit die Simulation des Verfahrens ab und ist für amorphe Thermoplaste experimentell validiert. »

hammerle

Automation ist unsere Berufung



Wir bauen:

- Rundtaktmaschinen
- Lineartransfersysteme
- Lineartaktmaschinen
- Linearmotorsysteme

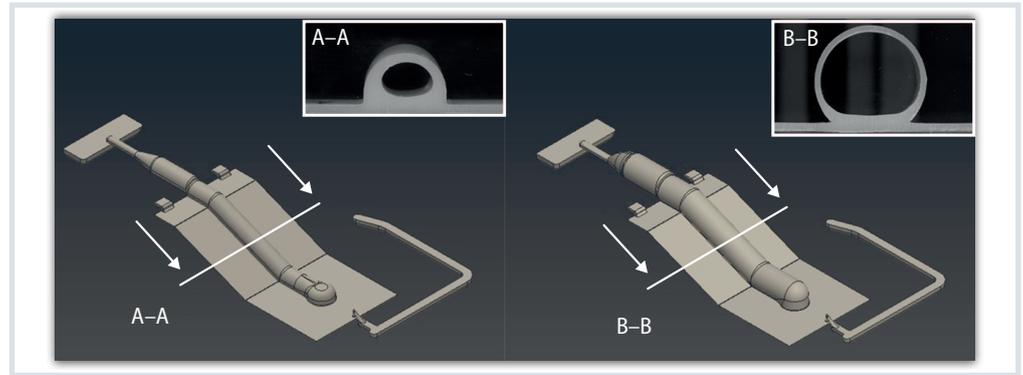
Für folgende Branchen:

- Sanitär Industrie
- Automotive
- Kunststoff Industrie
- Medizinal Technik

Hammerle Maschinenfabrik AG
Kornhausstrasse 35
8840 Einsiedeln

Telefon +41 (0)55 418 49 00
info@hammerle.ch
www.hammerle.ch

Bild 2. Gegenüberstellung des Preforms (links) und des Fertigteils (rechts) inklusive der dazugehörigen Querschnitte. Quelle: KTP; Grafik: © Hanser



Um ein allgemeingültiges Prozessverständnis aufzubauen, sind die Eigenschaften amorpher und teilkristalliner Materialien gleichermaßen im Prozess zu untersuchen. Die Ausgestaltung der Fertigteilgeometrie ist durch den Aufblasvorgang im Spritzgießwerkzeug nur geringfügig eingeschränkt, jedoch muss die maximale Dehnung des Bauteilbereichs geringer sein als die Bruchdehnung des eingesetzten Kunststoffs. Die Bruchdehnung des Materials ist stark von der vorliegenden Temperatur abhängig und weist für amorphe sowie teilkristalline Thermoplaste variierende Charakteristika auf (**Bild 3**).

Es ist festzuhalten, dass mit Erhöhung der Temperatur ab dem Zeitpunkt der Materialerweichung die Bruchspannung sinkt und die Bruchdehnung steigt. Die erhöhte Bruchdehnung besteht dabei bis zum Übergang in den schmelzeförmigen Bereich und der Überschreitung in den Fließbereich [6]. Gegenüber den teilkristallinen Materialien ist der Temperaturbereich mit erhöhter Bruchdehnung bei den amorphen Thermoplasten jedoch bedeutend größer. Dies ist für das Streckverhalten im GITBlow-Verfahren relevant, was wiederum bedeutend für die Prozessführung im Hinblick auf die Temperaturhomogenität ist.

Aufblasbereich mit ausreichend hoher Bruchdehnung

Der vollständige Aufblasbereich des Preforms muss zum Zeitpunkt der zweiten Gasinjektion eine ausreichend hohe Bruchdehnung aufweisen, damit die Preformwand auf keinen Fall aufplatzt. Um teilkristalline Thermoplaste im GITBlow-Prozess

verwenden zu können, ist eine hohe Verstreckung nur in einem kleineren Temperaturbereich realisierbar. Alternativ kann in Anbetracht des Bruchdehnungsverlaufs auch eine geringe Verstreckung in einem breiteren Temperaturbereich erfolgen,

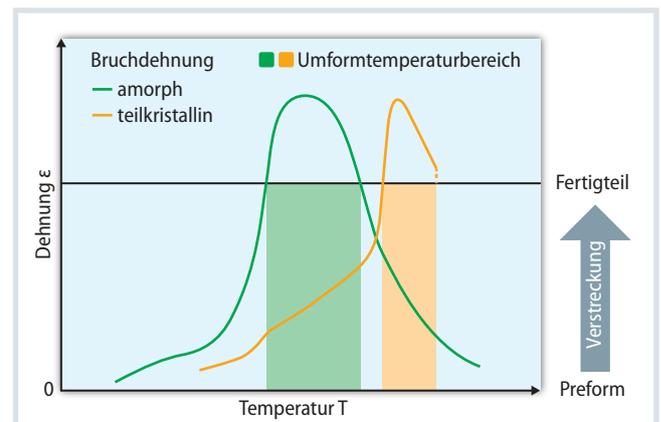


Bild 3. Qualitative Darstellung der Umformtemperaturbereiche von amorphen und teilkristallinen Thermoplasten [3]. Die Bruchdehnung der Materialien weist jeweils variierende Charakteristika auf.

Quelle: KTP; Grafik: © Hanser

was jedoch die mögliche Geometrievielfalt des Verfahrens einschränkt. Die Materialanhäufungen im Querschnitt, die aus den angeordneten Funktionselementen resultieren, sorgen für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung, sogenannte Hotspots (Nr. 3 in **Bild 4**).

Temperaturausgleich im offenen Werkzeug

Durch Variation verschiedener Verfahrensparameter kann die Temperaturverteilung jedoch beeinflusst werden. Prinzipiell ist eine möglichst homogene Temperaturverteilung im Querschnitt bzw. ein Temperaturausgleich das Ziel der Handlingphase. Zum Zeitpunkt der zweiten Gasinjektion müssen alle Bereiche des Preforms über einen möglichst gleichförmigen Verformungswiderstand verfügen, um eine homogene Verstreckung zu erzielen. Dafür muss im geöffneten Werkzeug ausreichend Zeit für den Temperaturausgleich berücksichtigt werden.

Bei freier Konvektion gleichen sich als Folge der Wärmeleitung des Kunststoffs die Temperaturen der Hotspots an die weiteren Bauteilbereiche an. Analytische Berechnungen erge-

Info

Text

Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer ist Professor der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) an der Universität Paderborn; elmar.moritzer@ktp.upb.de

Michael Kröker, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der KTP.

Dank

Dieses Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt und finanziert.

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

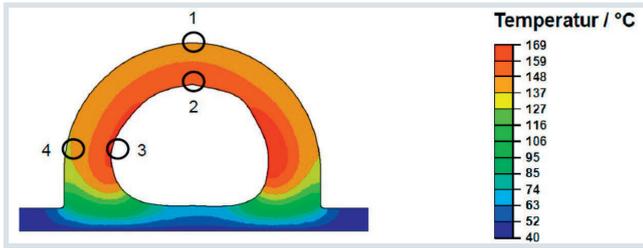


Bild 4. Simulierte Temperaturhomogenität im Querschnitt eines Preforms. Die Temperatur im Flankenbereich (Punkte 3 und 4) ist aufgrund von Materialanhäufungen höher als im Dachbereich (Punkte 1 und 2). © KTP

ben, dass beispielsweise eine Handlingzeit von 12 s bei Verwendung von PP zu einem ausreichend homogenen Temperaturprofil mit einer maximalen Temperaturdifferenz von 14 K in den aufblasrelevanten Bauteilbereichen führt. Diese ist gering genug, um ein vollständig aufgeblasenes Bauteil zu erhalten. Die Herausforderung liegt darin, ein ausreichend hohes Temperaturniveau für den materialspezifischen Umformtemperaturbereich zu erhalten, bei gleichzeitig ausreichender Handlingzeit für den Temperaturengleich, um die Temperaturdifferenzen zwischen Flanken und Dach auszugleichen.

Mithilfe von Temperatursimulationen und Wärmebildanalysen der vorherrschenden Temperaturniveaus im Preform konnte eine hohe Präzision in dem zweistufigen Herstellungsprozess

realisiert werden. Bauteile aus PP, PA6 und PA12 lassen sich trotz des nur minimalen Umformtemperaturbereichsprozesssicher herstellen.

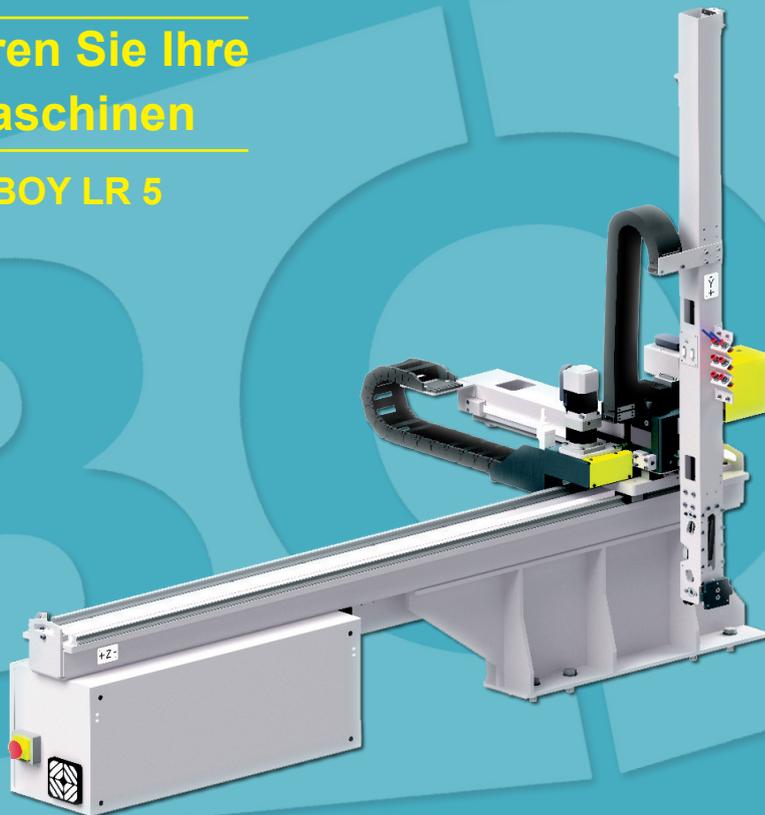
So weist das Muster eines vollständig aufgeblasenen Bauteils aus PP (**Titelbild**) im Querschnitt eine homogene Wanddicke auf. Deren Analyse erfolgt automatisiert in einem Bildanalyse-Tool. Darin wird zunächst der Mittelpunkt des aufgeblasenen Bauteilbereichs ermittelt, sodass anschließend in Umfangsrichtung an 15 Messpunkten die jeweilige Wanddicke berechnet wird (S. 26, unten rechts im Bild). Die Berechnung erfolgt anhand der Kontrastunterschiede von Bauteil zu Hintergrund und der Anzahl der Pixel, die innerhalb der Bauteilwand ermittelt wird. Somit ist anhand des Querschnitts und der automatisch berechneten Wanddickenhomogenität eine schnelle Beurteilung des Bauteils möglich.

Fazit

Das Prozessverhalten des zweistufigen GITBlow-Verfahrens lässt sich unter besonderer Berücksichtigung von nicht rotations-symmetrischen Bauteilgeometrien durch die Simulation vollständig beschreiben. Das Feder-Dämpfer-Modell zur Berechnung des Aufblasverhaltens wird derzeit auch für die Verwendung teilkristalliner Materialien angepasst. Auch die Fertigung von GITBlow-spezifischen Strukturen auf im Spritzgießwerkzeug umgeformten Organoblechen wird derzeit untersucht. ■

Automatisieren Sie Ihre Spritzgießmaschinen

Linearhandling BOY LR 5



BOY®

Spritzgießautomaten



- ✓ Fünf-Achs-Industrieroboter für Entnahme-, Separier- und Montageaufgaben
- ✓ Drei Linearachsen sowie pneumatische Dreh- und Schwenkachsen
- ✓ Wiederholgenauigkeit der Positionierung unter $\pm 0,1$ mm
- ✓ Vielseitig einsetzbar und in modularen Größen / Ausstattungen lieferbar

