



Michael Kröker, M.Sc.

Simulation und Modellierung des Prozessverhaltens von teilkristallinen Materialien im Sonderspritzgießverfahren GITBlow

Die Bedeutung von leichtgewichtigen Bauteilstrukturen nimmt bei industriell gefertigten Produkten einen immer größer werdenden Stellenwert ein. Preisanstiege bei natürlichen Ressourcen zwingen die Industrie zudem zu einem effizienteren Umgang mit Rohstoffen. Das an der Kunststofftechnik Paderborn entwickelte Spritzgieß-Sonderverfahren GITBlow kann hierzu durch eine innovative Prozessführung einen Beitrag leisten. Es erlaubt die Herstellung hohler und besonders leichtgewichtiger Strukturen, die durch großvolumige, komplexe Hohlräume und geringe Wanddicken gekennzeichnet sind. Hierzu werden die Einzelprozesse „Gasinjektionstechnik“ (GIT) und „Blasformen“ (Blow) in einem einzelnen Verfahrensschritt kombiniert. Hierzu werden zwei aufeinander folgende Gasinjektionen und zwei unterschiedlich große Kavitäten in einem Werkzeug genutzt.

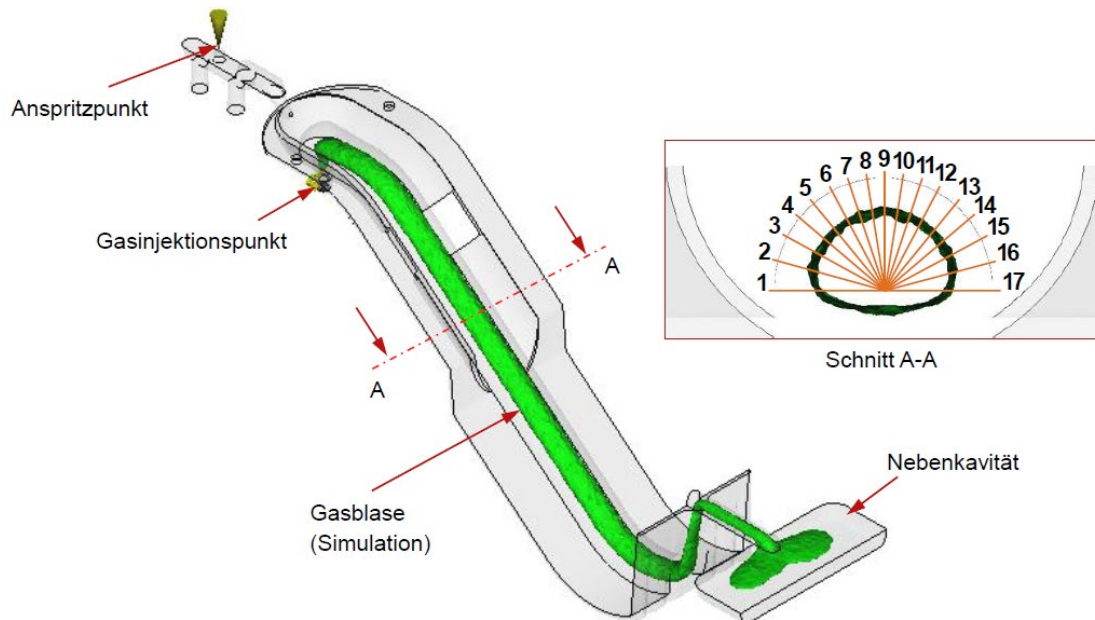
Ziel des hier beschriebenen Vorhabens ist die Simulation und Modellierung des Prozessverhaltens bei der Verarbeitung von teilkristallinen Kunststoffen im Spritzgießsonderverfahren GITBlow unter besonderer Berücksichtigung von nicht rotationssymmetrischen Bauteilgeometrien. Die durchzuführenden Simulationen und Modellierungen werden mit Hilfe von empirischen Befunden validiert. Durch die Weiterführung dieses Projektes wird es möglich, das Aufblasverhalten diverser Geometrievariationen und Materialtypen zu prognostizieren und GITBlow-basierte Kunststoffproduktenwendungen im Vorfeld vollständig zu durchdringen und auszulegen.

Die Ergebnisse, die in den ersten Jahren des Projektes erzielt werden konnten, haben gezeigt, dass bei der Simulation des GITBlow-Prozesses eine Aufteilung in die drei charakteristischen Prozessschritte des Verfahrens zielführend ist. Dies bedeutet, dass drei aufeinander aufbauende Simulationsschritte durchgeführt werden, die sich am Ablauf des Verfahrens orientieren. Diese sind im Einzelnen:

- 1) Preformproduktion mittels Gasinnendruckspritzgießen – Simulation mittels FEM und der Software Autodesk Moldflow
- 2) Temperatenausgleich durch Wärmetransport – Simulation mittels FEM und der Software Dassault Systèmes Abaqus
- 3) Aufblasen mittels zweiter Gasinjektion – Simulation mittels Feder-Dämpfer-Modell

Die erste Prozessphase im GITBlow-Verfahren ist die von rheologischen Fließprozessen dominierte Einspritz- und Gasinjektionsphase. Diese wird durch eine CFD-Simulation mittels

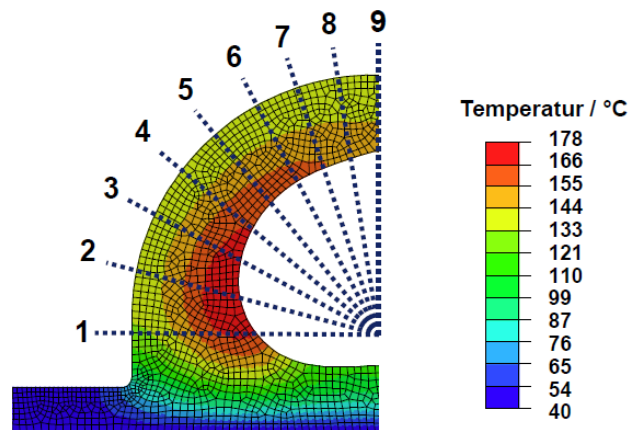
der Software Autodesk Moldflow hinsichtlich der Parametereinflüsse auf die Wanddickenverteilung untersucht. Aufgrund der großen Analogien zwischen dem Blasformen und dem in diesem Projekt betrachteten Prozess kann darauf geschlossen werden, dass die Wanddickenverteilung des Preforms das Aufblasverhalten maßgeblich beeinflusst.



Simulierte Gasblase im Preform des zweistufigen GITBlow-Verfahrens (Material: PC+ABS, $t_{v,GIT} = 2\text{ s}$, $p_{GIT,sim} = 80\text{ bar}$)

Sowohl der Gasblasenquerschnitt, als auch die Lage der Gasblase in den Radien und Querschnittsverjüngungen beim Gasinjektionspunkt und am Übergang zur Nebenkavität können mit der entwickelten Methodik mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden. Somit eignet sich diese für den Einsatz bei der Gesamtmodellierung des GITBlow-Prozesses und die ermittelten Daten hinsichtlich der Wanddickenverteilung nach der ersten Gasinjektion können in den nachfolgenden Simulationsschritt übergeben werden.

Die Temperaturverteilung zum Zeitpunkt des Aufblasens ist der wichtigste direkte Einflussfaktor für das Aufblasverhalten des GITBlow-Preforms und kann durch verschiedene Verfahrensparameter beeinflusst werden. Das Ziel ist es, eine möglichst homogene Temperaturverteilung im Querschnitt zu erhalten, damit alle Bereiche des Preforms über einen möglichst gleichförmigen Verformungswiderstand verfügen und homogen verstreckt werden können. Die Temperatursimulation dient bei der Modellierung des GITBlow-Prozesses als Ausgangspunkt für den nachfolgenden Simulationsschritt, 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 des Gasinjektionsschrittes hervorgeht.

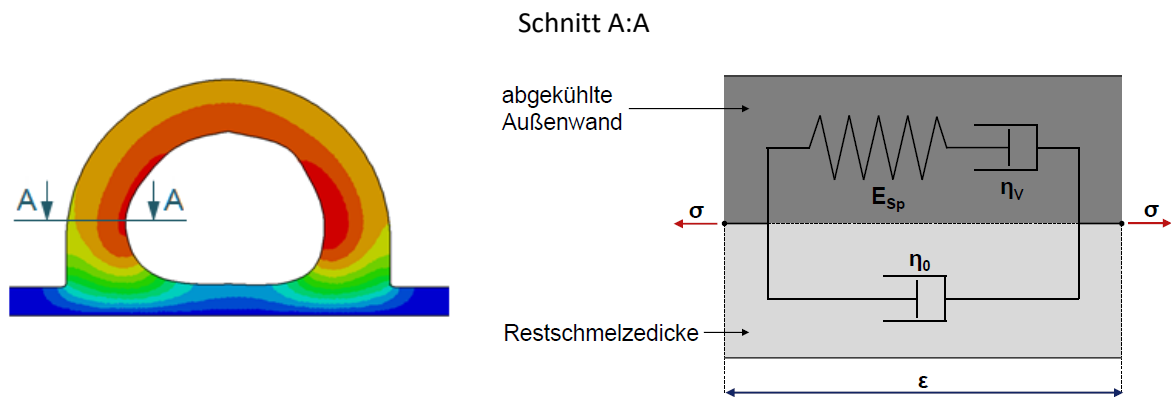


Ergebnis der Temperaturberechnung für eine Preformhälfte (Ausnutzung der Bauteilsymmetrie) mit Einteilung in neun radial angeordnete Abschnitte

Die mithilfe der FEM-Berechnung ermittelten, örtlich fein aufgelösten Temperaturen werden zu Mitteltemperaturen an den zuvor im Simulationsschritt 1 definierten Positionen entlang der Preformkontur zusammengefasst. Mit Bezug auf die im Preformquerschnitt vorliegenden Temperaturgradienten ergeben sich zwei Einteilungsmöglichkeiten. Die radiale Segmentierung der Preformwand entlang der Kontur liefert eine Aussage über die Entwicklung der Temperatur über dem Umfang. Hervorgerufen durch den Hotspot in Bauteilinneren sinkt die gemittelte Temperatur der Wand kontinuierlich bis zur oberen Position 9 ab. Somit steigt auch der Verformungswiderstand von Position 1 bis 9 kontinuierlich an, womit die zuvor beschriebene, charakteristische Wanddickenverteilung (ansteigende Wanddicke von den Seitenwänden zum oberliegenden Dachbereich) im aufgeblasenen Bauteil zu erwarten ist. Die Unterteilung der Preformwand in Innen- und Außenseite zeigt dagegen, dass sich der Kunststoff im Inneren teilweise auf einem deutlich höheren Temperaturniveau befindet, als an der Außenseite. Es kann daher postuliert werden, dass das Umformverhalten beim Aufblasen an der Innenseite von viskosen Vorgängen und an der Außenseite von viskoelastischen Vorgängen dominiert ist.

Aufgrund von Temperaturunterschieden innerhalb des Bauteilquerschnitts ergibt sich beim GITBlow-Verfahren ein charakteristisches, lokal unterschiedliches Aufblasverhalten. Hotspots im Seitenbereich des Bauteilinneren sorgen für eine stärkere Verstreckung im Vergleich zum oberen Bereich, da sich die Verformungswiderstände dieser Querschnittsbereiche voneinander unterscheiden. Das Ergebnis ist eine im Vergleich zu den Flanken größere Wanddicke im oberen Bauteilbereich.

Beim artverwandten Prozess des Streckblasformens ist die Verstreckung des Preforms ein komplexer dreidimensionaler Vorgang, bei dem die Dehnmodes uniaxial, biaxial und planar örtlich und zeitlich betrachtet in statistischer Verteilung überlagert auftreten. Dadurch wird eine modellhafte Abbildung des Vorganges erschwert. Beim GITBlow-Prozess hingegen tritt eine rein planare Verstreckung auf, da sich die Verformung auf die Bauteilquerschnittsebene beschränkt und die Bauteilabmessungen in Längsrichtung konstant bleiben. Dies ermöglicht die modelltheoretische Abbildung in dem dargestellten zweidimensionalen Feder-Dämpfer-Modell. Dieses verknüpft die viskosen und viskoelastischen Aspekte des Kunststoffs über eine Parallelschaltung.



Drei-Parameter-Modell zur Beschreibung des mikromechanischen Materialverhaltens während des Aufblasprozesses im GITBlow-Verfahren

Die Modellvorstellung, die diesem Aufbau zugrunde liegt, entspricht dem oben beschriebenen Sachverhalt. An der Innenseite der Preformwand liegt der Kunststoff bei erhöhter Temperatur vor, da die Wärme aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit innerhalb der vorgegebenen Kühlzeit nicht in das Werkzeug abgeführt werden kann. Das Material verhält sich dort in erster Näherung rein viskos. An der Außenseite befindet sich der Kunststoff im Bereich der minimalen Umformtemperatur, das Materialverhalten ist daher hauptsächlich viskoelastisch.

Aus den vorgestellten Ergebnissen wird ersichtlich, dass eine durchgängige Modellierung des GITBlow-Verfahrens auf Basis einer Einteilung in drei Prozessphasen möglich ist. Dabei ist die Berücksichtigung der materialspezifischen Eigenschaften verschiedener amorpher Thermoplaste und die Umsetzung sowohl des einstufigen als auch des zweistufigen GITBlow-Prozesses mit ihren jeweiligen Bauteilgeometrien ebenfalls möglich. Aufbauend auf den Modellierungsgrundlagen aus dem Vorgängervorhaben ist das Ziel dieses Nachfolgevorhabens, die Übertragbarkeit der Modellierung auf weitere Bauteilgeometrien sowie teilkristalline Materialien zu realisieren.

In den ersten Projektjahren erfolgte die Fokussierung auf die Simulation des Verhaltens von amorphen Materialien. Um eine allgemeingültige Simulationsumgebung aufzubauen, sind jedoch die Eigenschaften amorpher und teilkristalliner Materialien gleichermaßen in der Berechnung zu hinterlegen. Das Aufblasverhalten im zweistufigen GITBlow-Prozess erfordert aufgrund des geringeren Umformtemperaturbereiches teilkristalliner Materialien eine bedeutend präzisere Prozessführung. Mithilfe von Temperatursimulationen und Wärmebildanalysen der vorherrschenden Temperaturniveaus im Preform ist die Herstellung von Bauteilen aus PP, PA6 und PA12 prozesssicher möglich. Damit die notwendigen Materialkennwerte korrekt erfasst und in die Simulation integriert werden können, werden derzeit thermoanalytische und rheologische Untersuchungen an Preform- sowie Fertigteil in den jeweiligen Flanken- und Dachbereichen durchgeführt. In Kombination mit den thermischen Ausgangsbedingungen kann somit eine vollumfängliche Beschreibung des Prozessverhaltens realisiert werden.

Danksagung

Dieses Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt und finanziert. Wir danken der DFG für die Unterstützung.