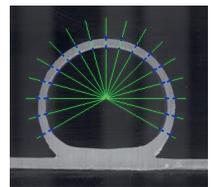
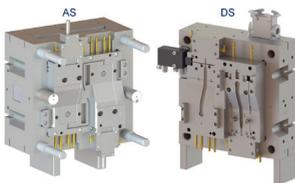


# Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Experimentelle und modellbasierte Untersuchungen  
zum Prozessverhalten von teilkristallinen Materialien  
im Spritzgießsonderverfahren GITBlow

Michael Kröker

Band  
2023/62



*Experimentelle und modellbasierte Untersuchungen zum Prozessverhalten von  
teilkristallinen Materialien im Spritzgießsonderverfahren GITBlow*

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (DR.-ING.)  
der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Paderborn

genehmigte  
DISSERTATION

von  
Michael Kröker  
aus Lübbecke

Tag des Kolloquiums: 17.01.2023  
Referent: Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer  
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim



Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Band 62/2023

**Michael Kröker**

**Experimentelle und modellbasierte Untersuchungen  
zum Prozessverhalten von teilkristallinen Materialien  
im Spritzgießsonderverfahren GITBlow**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Düren 2023

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2023

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8965-3

ISSN 2196-2200

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit verfasste ich während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kunststofftechnologie der Universität Paderborn in den Jahren 2018 bis 2022.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer für die Ermöglichung der Promotion, die fachlichen Diskussionen sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen und dem damit verbundenen großen Gestaltungsfreiraum bei meiner Arbeit und Forschung. Für die freundliche Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim von der Universität Kassel.

Ferner gilt mein Dank allen Kolleginnen und Kollegen des KTP für die stets sehr gute Zusammenarbeit und angenehme Arbeitsatmosphäre. Darüber hinaus bedanke ich mich bei meinen studentischen Hilfskräften Karam Farkhat, Kai Lingnau und Ömer-Can Ayvalik sowie allen Bachelor-, Studien-, Projekt-, und Masterarbeiterinnen und -arbeitern für die tatkräftige Unterstützung.

Die Inhalte dieser Arbeit entstanden im Rahmen öffentlich geförderter Forschungsvorhaben. Weiterer Dank gilt daher der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Förderung der Forschungsprojekte.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern, Schwiegereltern, Freunden und ganz besonders meiner Frau Sarah aus tiefstem Herzen dafür bedanken, mir über die Jahre immer den Rücken gestärkt zu haben und mich stets unterstützen.

Herzlichen Dank!

Michael Kröker

Paderborn, im Januar 2023



## **Zusammenfassung**

Das Spritzgießsondervfahren GITBlow stellt eine Kombination aus den Einzelverfahren Gasinjektionstechnik (GIT) und Blasformen dar, wodurch deren spezifische Vorteile synergetisch genutzt werden können. Hierzu wird zunächst ein Preform mittels der GIT hergestellt, der in einem zweiten Schritt durch einen Blasformprozess weiter expandiert wird.

In der vorliegenden Arbeit werden die simulativen und experimentellen Untersuchungen des zweistufigen GITBlow-Verfahrens anhand von teilkristallinen Materialien beschrieben. Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine komplettierte Beschreibung der notwendigen Prozessbedingungen, um auch teilkristalline Materialien mit einem sehr schmalen Umformtemperaturbereich im Werkzeug aufzublasen. Dies beinhaltet die Simulation und analytische Berechnung der zum Aufblaszeitpunkt vorliegenden Ausgangsbedingungen zur Temperaturhomogenität sowie Wanddicken des Preforms. Abschließend erfolgt die Beschreibung des Aufblasverhaltens anhand eines Feder-Dämpfer-Modells mithilfe dynamisch-mechanischer Analysen. Zur Validierung der Bauteilwanddicken wird zudem die Entwicklung einer automatisierten Ermittlung der Wanddickenhomogenitäten beschrieben.

## **Summary**

The special injection molding process GITBlow represents a combination of the individual processes Gas Assisted Injection Molding (GAIM) and Blow Molding. It synergistically utilizes the specific advantages of the single processes. For this purpose, a preform is first produced using GAIM, which is further expanded in a second step by a second gas injection.

In this thesis, the two-step GITBlow process is analyzed using semi-crystalline materials. This includes the simulation and analytical calculation of the initial conditions for temperature homogeneity and wall thickness of the preform at the time of inflation. Finally, the inflation behavior is described using a spring-damper model with the aid of dynamic-mechanical analyses. In addition, the development of an automated determination of the wall thickness homogeneities is described for the validation of the component wall thicknesses. The result of this work is a complete description of the process conditions required to inflate semi-crystalline materials with a very narrow forming temperature range in the mold.



## Liste der Vorveröffentlichungen

Moritzer, E.; Kröker, M.: Weiterentwicklung von GITBlow für dünnwandige Hohlstrukturen auf Organoblechen. In: CU reports 01/2021, S. 46 – 47, ISSN 2699-4534, Composites United e.V., 2021

Moritzer, E.; Kröker, M.: Simulative analysis of the filling process in the 2K GITBlow process on organo sheets. Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC), Digital (Corona), 2021

Moritzer, E.; Kröker, M.: Direct processing of crushed organo sheets in the injection molding process. In: CU reports 01/2021, S. 46 – 47, ISSN 2699-4534, Composites United e.V., 2022

Moritzer, E.; Kröker, M.: Mit höchster Präzision im Spritzgießwerkzeug aufgeblasen - Weiterentwicklung des GITBlow-Verfahrens durch die Kunststofftechnik Paderborn ermöglicht Aufblasen im Spritzgießwerkzeug mit spritzgießtypischen Bauteilgeometrien. In: Kunststoffe, Heft 6/2022, S. 26 – 29, ISSN: 0023-5563, 2022

Moritzer, E.; Kröker, M.: Analysis of the blowing behavior of semi-crystalline plastics in the two-stage GITBlow process. 37th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS), Fukuoka (Japan), Digital (Corona), 2022

Moritzer, E.; Kröker, M.; Scholle, M.: Rückführung zerkleinerter Organobleche – Direkte Verarbeitung von zerkleinerten Organoblechen im Spritzgießprozess. In: CU reports 01/2022, LightCon 2022.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	2
<b>2 Das Spritzgießsonderverfahren GITBlow .....</b>	<b>3</b>
2.1 Prozessbeschreibung des ein- und zweistufigen GITBlow-Verfahrens ..	3
2.2 Simulation der Prozessschritte .....	8
2.2.1 Preformproduktion mittels Gasinnendruckspritzgießen .....	9
2.2.2 Temperatenausgleich durch Wärmetransport .....	11
2.2.3 Aufblasen mittels zweiter Gasinjektion .....	14
<b>3 Streckverhalten teilkristalliner Materialien .....</b>	<b>22</b>
3.1 Abgrenzung des GITBlow-Verfahrens vom Blasformen .....	22
3.1.1 Prozessbasierte Unterschiede zwischen dem zweistufigen GITBlow- Prozess und dem Streckblasformen .....	22
3.1.2 Unterscheidung der Verfahrensabläufe hinsichtlich der thermischen Randbedingungen .....	24
3.1.3 Dehnratenbasierte Prozessunterschiede .....	26
3.2 Dehnverhalten teilkristalliner Thermoplaste .....	29
3.3 Deformationsverhalten bei GITBlow-spezifischen Dehnraten .....	34
<b>4 Simulative Analyse der Preformherstellung .....</b>	<b>39</b>
4.1 Geometrische Ausbildung der Gasblase infolge der ersten Gasinjektion im zweistufigen GITBlow-Prozess .....	40
4.1.1 Randbedingungen der Simulation mittels Moldflow .....	40
4.1.2 Untersuchungsplanung und Zielgrößendefinition .....	47
4.1.3 Einfluss der Prozessparameter .....	51
4.1.4 Bedeutung der Parametereinflüsse für die Unterscheidung zwischen amorphen und teilkristallinen Materialien .....	58
4.2 Analyse des Temperatenausgleichs während der Handlingphase .....	60
4.2.1 Simulative Ermittlung der Temperaturen im Preformquerschnitt ....	60
4.2.2 Analyse der Wanddickenverteilung im Preform .....	63
4.2.3 Analytische Berechnungen der Temperaturentwicklung des Preforms während der Handlingphase .....	66
4.3 Experimentelle Validierung der Temperaturberechnungen .....	72

---

4.3.1	Untersuchungsaufbau zur Temperaturanalyse des Preforms .....	73
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen des zweistufigen GITBlow-Prozesses</b>	<b>79</b>
5.1	Entwicklung einer automatisierten Ermittlung der Bauteilwanddicken ..	79
5.2	Analyse der resultierenden Wanddickenverläufe .....	84
5.2.1	Wanddickenverläufe der Preforms .....	84
5.2.2	Wanddickenverläufe der GITBlow-Fertigteile .....	87
<b>6</b>	<b>Modellbasierte Beschreibung des Aufblasprozesses</b> .....	<b>94</b>
6.1	Analyse des Einflusses der Kristallinität auf die Wanddickenhomogenität .....	95
6.1.1	DSC-Analysen der verwendeten teilkristallinen Materialien .....	95
6.1.2	Gegenüberstellung der ermittelten Kristallinitätsgrade .....	97
6.2	Modellbasierte Berechnung der resultierenden Wanddicke .....	99
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>105</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>109</b>
7.1	Zitierte Quellen .....	109
7.2	Verwendete studentische Abschlussarbeiten .....	117
7.3	Erklärung zur Zitation von Inhalten aus studentischen Arbeiten .....	118
	<b>Anhang</b> .....	<b>119</b>
A.1	Weitere Ergebnisse aus der Temperatursimulation .....	119
A.2	DSC-Messungen Durethan B30S (PA6) .....	122
A.3	DMA-Analysen .....	124