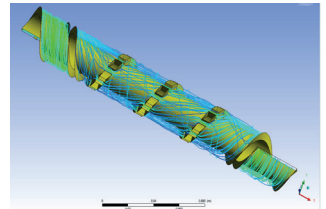


Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Beitrag zur verfahrenstechnischen Entwicklung
der Direktcompoundierung im Spritzgießprozess
mit sequentiell arbeitenden Kolbenspritzeinheiten

Marius Wittke

Band
2021/51



*Beitrag zur verfahrenstechnischen Entwicklung der Direktcompoundierung im
Spritzgießprozess mit sequentiell arbeitenden Kolbenspritzeinheiten*

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

vorgelegte
DISSERTATION

von
Marius Wittke
aus Verl

Referent: Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer
Korreferent: Prof. Dr.-Ing Hans-Peter Heim
Tag des Kolloquiums: 20. August 2021

Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Band 51/2021

Marius Wittke

**Beitrag zur verfahrenstechnischen Entwicklung der
Direktcompoundierung im Spritzgießprozess mit
sequentiell arbeitenden Kolbenspritzeinheiten**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Düren 2021

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., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8230-2

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 • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit verfasste ich während meiner Tätigkeit als Assistent am Lehrstuhl für Kunststofftechnologie der Universität Paderborn in den Jahren 2017 bis 2021. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer für die Ermöglichung der Promotion, die richtungsweisende Unterstützung in zahlreichen Gesprächen sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Dem Geschäftsführer der Arenz GmbH, Frank Altendorf, danke ich für seinen großen Einsatz in den vergangenen vier Jahren herzlich. Ich darf sagen, dass ein solches Maß an persönlichem Einsatz eine enorme Bereicherung für die gemeinsamen Projekte war.

Für die Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim vom Institut für Werkstofftechnik der Universität Kassel.

Ferner gilt mein Dank allen Kolleginnen und Kollegen des KTP für die stets sehr gute Zusammenarbeit und angenehme Arbeitsatmosphäre. Darüber hinaus möchte ich meinen Hilfskräften Kai Lingnau, Janek Mund und Ernest Bergen sowie allen Bachelor-, Studien-, Projekt-, und Masterarbeiterinnen und -arbeitern für die tatkräftige Unterstützung danken. Ihr wisst, dass euer Einsatz viele Dinge erst möglich gemacht hat.

Mein abschließender und ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Caroline und meiner Familie, die mir während der gesamten Zeit den Rücken gestärkt haben, viel Geduld mit mir hatten und stets an mich glauben.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein neuartiges Verfahren zur Direktcompoundierung von Polypropylen und Polyamid mit Glasfasern vorgestellt. Der innovative Kern des Verfahrens besteht in der kontinuierlichen Verbindung eines Sonderschneckenextruders zur Compoundierung und dem Spritzgießprozess ohne die Zuhilfenahme eines Schmelzspeichers durch die Verwendung zweier Kolbenspritzeinheiten.

Zunächst wird das Konzept des Sonderschneckenextruders vorgestellt und experimentell hinsichtlich der Zielgröße Faserlänge untersucht. Dabei wird insbesondere dargestellt, wie Material- und Prozessparameter die Faserlängenverkürzung beeinflussen. Im Anschluss wird die Integration des Sonderschneckenextruders in den Spritzgießprozess vorgestellt. Die Untersuchungen zeigen den Einfluss der Bauteilhomogenität in Wechselwirkung mit der Faserverkürzung auf erreichbare mechanische Eigenschaften. Durch eine verfahrenstechnische Innovation wird der Stand der Technik hinsichtlich erreichbarer Festigkeiten konventioneller Materialien durch die Direktcompoundierung erweitert. Dies wird insbesondere durch eine Reduzierung der zur Faserhomogenisierung notwendigen Scherung erreicht.

Summary

In the present work a novel process for the direct compounding of polypropylene and polyamide with glass fibers is presented. The innovative core of the process consists in the continuous connection of a special screw extruder for compounding and the injection molding process without the aid of a melt reservoir through the use of two piston injection units.

First, the concept of the special screw extruder is presented and experimentally investigated with regard to the target fiber length. In particular, it is shown how material and process parameters influence the shortening of the fiber length. The integration of the special screw extruder into the injection molding process will then be presented. The investigations show the influence of component homogeneity in interaction with fiber shortening on achievable mechanical properties. A process innovation extends the state of the art with regard to achievable strengths of conventional materials through direct compounding. This is achieved in particular by reducing the shear required for fiber homogenization.

Liste der Vorveröffentlichungen

Moritzer, E.; Heiderich, G.; Wittke, M.: Numerical Simulation of Residence Time, Shear Rates and Throughput in Single Screw Extruders Considering Wall Shear Rates. 34th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS), Taipei (Taiwan), 2018

Moritzer, E.; Wittke, M.: Synergien aus der Schnecke. In: Kunststoffe, 12/2018, 2018, S. 69-72, ISSN: 0023-5563.

Moritzer, E.; Wittke, M.: Synergies from the Screw. In: Kunststoffe International, 12/2018, 2018, S. 34-37, ISSN: 1862-4243

Moritzer, E.; Hüttner, M.; Krassmann, D.; Wittke, M.: Lebensdauer von Composites und Composite-Metall-Hybridverbindungen, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, Werkstoffwoche Dresden, 2019

Moritzer, E.; Wittke, M.: Simulation-based Optimization of Advances Mixing Elements on Single Screw Extruders. 77th Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC), Detroit (USA), 2019

Moritzer, E.; Wittke, M.: Metallsubstitution durch Spritzgießtechnik gerät allmählich in Reichweite. In: MNWP Magazin, 02/2020, 2020, S. 26-27

Moritzer, E.; Wittke, M.: Neue Maßstäbe in puncto Festigkeit und Faserlänge. In: Plastverarbeiter, 08/2020, 2020, S. 18-21

Moritzer, E.; Wittke, M.: Context of Fiber Length Distribution, Homogeneity and Mechanical Properties in Direct Compounding Injection Molding of Fiber Reinforced Thermoplastics. Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC) 2020, Digital (Corona) (Digital (Corona)), 2020

Moritzer, E.; Hopp, M.; Wittke, M.; Deuse, J.; Kroll, A.; Richter, R.; Schmitt, J.; Schulte, L.; Schrodt, A.: Einsatz von maschinellem Lernen für die Rezyklatverarbeitung. In: WAK Jahreszeitschrift, 2020, S. 2-5

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation: Faserverkürzung im Spritzgießprozess	2
1.2 Zielstellung: Entwicklung einer neuartigen Direktcompoundierung für den Spritzgießprozess	3
1.3 Vorgehen	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Faserverstärkte Kunststoffe	5
2.1.1 Fasern	6
2.1.2 Matrix	7
2.1.3 Werkstoffverhalten des Verbundes	9
2.1.4 Verarbeitungsverfahren	13
2.2 Modellierung der Faserverkürzung in Schneckenmaschinen	15
2.3 Verfahren zur Direktcompoundierung	19
3 Verfahrenstechnische Entwicklung des Einschneckenextruders	23
3.1 Direktcompoundierung von Polypropylen im Extrusionsprozess	23
3.1.1 Schneckenauslegung	23
3.1.2 Simulationsgestützte Auswahl geeigneter Mischelemente	25
3.1.3 Voruntersuchungen anhand von Dry-Blends	31
3.1.4 Erreichbare Faserlängen auf dem Sonderschneckenextruder	33
3.1.5 Numerische Modellierung des teilgefüllten Extruders	47
3.2 Direktcompoundierung von Polyamid im Extrusionsprozess	52
3.2.1 Voruntersuchungen	52
3.2.2 Schneckenauslegung	54
3.2.3 Experimentelle Untersuchungen	55
4 Verfahrenstechnische Integration in einen Spritzgießprozess	66
4.1 Voruntersuchungen	66
4.2 Verfahrenstechnischer Ansatz	73
4.3 Experimentelle Untersuchungen	79
4.3.1 Ergebnisse zur Faserverkürzung	79
4.3.2 Erreichbare Homogenitäten und auftretende Herausforderungen	82
4.3.3 Erreichbare Festigkeit	88
4.3.4 Weitere mechanische Eigenschaften	92
4.3.5 Anmerkungen zur Prozessgestaltung	96
5 Mechanische Vorbehandlung von Glasfasern	103
5.1 Zielstellung	103

5.2	Untersuchungsergebnisse	107
6	Zusammenfassung	113
7	Literaturverzeichnis.....	117
7.1	Zitierte Quellen	117
7.2	Verwendete studentische Abschlussarbeiten.....	122
8	Anhang	127