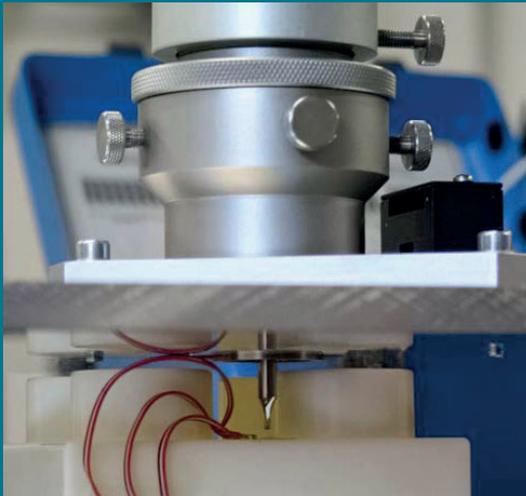
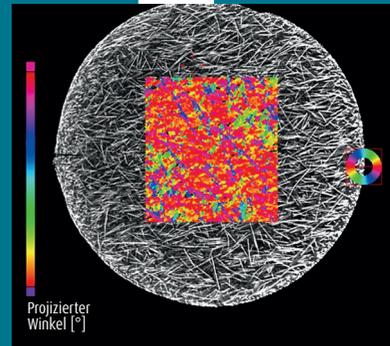


# Eigenstressen in kurzfaserverstärkten Spritzgussbauteilen



© SKZ



© SKZ

Malte Nebel, Kurt Engelsing, Benjamin Baudrit, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

# **Eigenspannungen in kurzfaserverstärkten Spritzgussbauteilen**

1. Auflage



SKZ – Forschung und Entwicklung

**SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)**

**Eigenspannungen in kurzfaserverstärkten  
Spritzgussbauteilen**

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.

#### Die Autoren

M.Sc. Malte Nebel  
Dr.-Ing. Kurt Engelsing  
Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit  
Dr. rer. nat. Thomas Hochrein  
Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

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 978-3-8440-8371-2

ISSN 2364-754X

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)

## **Danksagung**

Das Vorhaben 20329 N der Forschungsvereinigung FSKZ e. V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die Forschungseinrichtung SKZ - KFE gGmbH dankt dem BMWi und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung und den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Unterstützung bei der Durchführung des Forschungsvorhabens. Allen beteiligten Mitarbeitern des SKZ, der Labore und Technika sowie den studentischen Mitarbeitern, die zum Gelingen beigetragen haben, sei ebenfalls für ihr Engagement gedankt.



## **Kurzfassung**

Beim Fertigungsprozess von Bauteilen aus thermoplastischen Kunststoffen bilden sich Eigenspannungen aufgrund von mehreren überlagerten Phänomenen. Die resultierenden Eigenspannungen können das Bauteilverhalten sowohl positiv als auch negativ beeinflussen, je nachdem, ob sie einer äußeren Last entgegen- oder gleichgerichtet sind. Für die quantitative Ermittlung von Eigenspannungen in kurzfaserverstärkten, also anisotropen Werkstoffen, existiert bislang kein praxisrelevantes Verfahren.

Im Forschungsvorhaben wurde daher die inkrementelle Bohrlochmethode, welche bei der Eigenspannungsmessung an isotropen Werkstoffen bereits Anwendung findet, auf den anisotropen Fall übertragen. Wesentliche Vorteile des Verfahrens liegen in der Möglichkeit einer Messung an komplexen Geometrien und einer tiefenabhängigen Information über den Eigenspannungszustand. Der höheren Komplexität des anisotropen Werkstoffverhaltens wurde durch automatisierte Kalibrations- und Auswerteprozeduren Rechnung getragen. Die neue Methodik wurde weiterhin bei der Untersuchung des Einflusses von Prozesseinstellungen im Spritzguss auf das resultierende Eigenspannungsprofil eingesetzt. Abschließend wurde die praktische Anwendung der Methodik an einem Demonstratorbauteil gezeigt.

Die Forschungsergebnisse können insbesondere bei Ingenieurbüros und Prüfdienstleistern angewendet werden. Ingenieurbüros können die Kalibrierung anhand digitaler Zwillinge in ihr Portfolio aufnehmen. Prüfdienstleister können ihr Angebot bezüglich Eigenspannungsmessungen auf anisotrope Werkstoffe erweitern. Die Ergebnisse erlauben die tiefenabhängige und lokale Bestimmung von Eigenspannungszuständen an Bauteilen aus kurzfaserverstärkten Werkstoffen. Damit können Fortschritte bei der Beurteilung von Fertigungsprozessen hinsichtlich der Bildung von Eigenspannungen und insbesondere im Bereich der Qualitätskontrolle erzielt werden.



## **Abstract**

During the manufacturing process of components made of thermoplastics, residual stresses are formed due to several superimposed phenomena. The resulting residual stresses can influence the component behavior both positively and negatively, depending on whether they are opposing or equidirectional to an external load. To date, no practical method exists for the quantitative determination of residual stresses in short-fiber-reinforced, i.e. anisotropic, materials.

In the research project, the incremental hole drilling method, which is already used for residual stress measurement in isotropic materials, was therefore transferred to the anisotropic case. The main advantages of the method are the possibility of measurement on complex geometries and depth-dependent information on the residual stress state. The higher complexity of the anisotropic material behavior was considered by automated calibration and evaluation procedures. The new methodology was further applied in the investigation of the influence of process settings in injection molding on the resulting residual stress profile. Finally, the transfer of the methodology was demonstrated on a demonstrator component.

The research results can be applied to engineering offices and testing service providers. Engineering companies can include calibration using digital twins in their portfolio. Test service providers can extend their portfolio regarding residual stress measurements to anisotropic materials. The results allow depth-dependent and local determination of residual stress states on components made of short-fiber-reinforced materials. This enables advances to be made in the assessment of manufacturing processes regarding the formation of residual stresses and in the area of quality control.



<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Anlass für Forschungsvorhaben.....	1
1.2	Problemstellung .....	2
1.3	Zielsetzung.....	2
<b>2</b>	<b>Stand der Technik.....</b>	<b>3</b>
2.1	Definition von Eigenspannungen.....	3
2.2	Entstehung von Eigenspannungen.....	4
2.3	Ermittlung von Eigenspannungen.....	8
2.3.1	Inkrementelle Bohrlochmethode im isotropen Fall.....	8
2.3.2	Inkrementelle Bohrlochmethode im anisotropen Fall .....	12
<b>3</b>	<b>Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Durchgeführte Arbeiten .....</b>	<b>18</b>
4.1	Materialauswahl und Probekörperherstellung .....	18
4.2	Werkstoffcharakterisierung .....	19
4.3	Aufbau eines digitalen Zwillings.....	21
4.4	Bestimmung der Kalibrationskoeffizienten .....	24
4.5	Ermittlung von Eigenspannungen.....	28
4.6	Einfluss von Prozessparametern .....	31
4.6.1	Eigenspannungen in Abhängigkeit der Prozessparameter .....	32
4.6.2	Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit der Prozessparameter .....	33
4.7	Übertragung der Methodik auf ein Praxisbeispiel .....	33
<b>5</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>36</b>
5.1	Werkstoffcharakterisierung .....	36
5.2	Validierung .....	42
5.3	Untersuchungen in Abhängigkeit der Prozessparameter .....	50
5.3.1	Eigenspannungen in Abhängigkeit der Prozessparameter .....	50
5.3.2	Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit der Prozessparameter .....	60
5.3.3	Korrelation.....	65
5.4	Übertrag auf Praxisbeispiel.....	68
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>74</b>