

# Charakterisierung der Spannungsrisssbeständigkeit von Bauteilen aus PE



© SKZ



© SKZ

Auf Basis des Strain Hardening Tests

Britta Gerets, Kurt Engelsing, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

# **Charakterisierung der Spannungsrisssbeständig- keit von Bauteilen aus PE**

Auf Basis des Strain Hardening Tests

1. Auflage



SKZ – Forschung und Entwicklung

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

**Charakterisierung der Spannungsrissbeständigkeit  
von Bauteilen aus PE**

Auf Basis des Strain Hardening Tests

Shaker Verlag  
Düren 2022

### **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:

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Britta Gerets

Dr.-Ing. Kurt Engelsing

Dr. rer. nat. Thomas Hochrein

Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8657-7

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 IGF-Vorhaben 20225 N der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 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. Die Ergebnisse wurden im Wesentlichen von Frau Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Britta Gerets erarbeitet und sind zum Teil Inhalt ihres Promotionsvorhabens an der RWTH Aachen (Betreuer: Herr Prof. em. Dr.-Ing. Edmund Haberstroh). Allen weiteren beteiligten Mitarbeitern der SKZ Labore und Technika sowie den studentischen Mitarbeitern, die zum Gelingen beigetragen haben, sei ebenfalls für ihr Engagement gedankt.



## **Kurzfassung**

Die Spannungsrissbeständigkeit ist in Langzeitanwendungen im Hinblick auf die Bewertung der Nutzungsdauer essenziell. Für Polyethylen kann sie nun mithilfe des Strain Hardening Tests nicht mehr nur am Material, sondern auch am Bauteil schnell charakterisiert werden. Zur quantitativen Bestimmung wurden mechanische Verfahren zur Probekörpergewinnung aus verschiedenen Bauteilen (Folien/Dichtungsbahnen, Platten und Rohren) erfolgreich demonstriert. Das Ergebnis der Prüfung des Widerstandes gegen langsames Risswachstum wird in Produkten neben dem eingesetzten Material auch von der Verarbeitung beeinflusst. Dabei ist die aus den Herstellparametern und der Bauteildimension bzw. -geometrie resultierende (Molekül)Orientierung in Relation zur Beanspruchungsrichtung entscheidend. Diese ist auch für die in der Praxis zum Teil beobachteten Abweichungen von Material- und Bauteilprüfungen ursächlich. Optimierungen im Hinblick auf die Spannungsrissbeständigkeit sollten auf eine Kongruenz von Beanspruchungsrichtung und (Molekül)Orientierung abzielen. Wo diese nicht realisierbar ist, sind (Molekül)Orientierungen konstruktiv und/oder durch geeignete Wahl der Herstellbedingungen möglichst zu minimieren. Die an einem Musterwerkstoff erarbeiteten Erkenntnisse konnten anhand von kommerziell erhältlichen Bauteilen validiert werden. Korrelationen mit konventionellen Spannungsrissprüfungen wurden qualitativ wie quantitativ demonstriert. Ein Einsatz der (weiter)entwickelten Prüfmethode ist in der Warenein- und Warenausgangsprüfung, internen Produktions- und Qualitätsüberwachung, Material- und Produkt(weiter)entwicklung sowie Zertifizierung möglich. Die Forschungsergebnisse können somit mannigfaltig genutzt werden und somit zum wirtschaftlichen Erfolg beitragen.



## **Abstract**

Stress crack resistance is essential regarding service life in (long-term) applications. For polyethylene, materials as well as components manufactured thereof can now be quickly characterized using the strain hardening test. Methods to extract samples from various components (films/sealing sheets, plates and pipes) suitable for that test were successfully developed. Results generated in product tests are influenced not only by the material used but also by the manufacturing processes. The (molecular) orientation resulting from the manufacturing parameters and the component dimension/geometry in relation to the direction of stress determine the slow crack growth resistance. (Molecular) orientation also explains deviations between material and component test results that were sometimes observed in practice. Optimizations with respect to the stress crack resistance should aim at congruence of stress direction and (molecular) orientation. Whenever this is not feasible, (molecular) orientations should be minimized as far as possible by design and/or choice of adequate manufacturing conditions. The research was initially performed on one polyethylene material, but then validated on several commercially available components. Correlation with conventional stress crack tests was demonstrated qualitatively as well as quantitatively. The (further) developed test method can be used in incoming and outgoing goods inspection, internal production and quality monitoring, material and product development and certification. These diverse opportunities for implementing the research results can contribute to economic success.



<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Anlass für das Forschungsvorhaben.....	1
1.2	Problemstellung.....	2
1.3	Zielsetzung .....	2
<b>2</b>	<b>Stand der Technik.....</b>	<b>3</b>
2.1	Begriff der Spannungsrissbeständigkeit.....	3
2.2	Experimentelle Bestimmung der Spannungsrissbeständigkeit .....	4
2.2.1	Konventionelle Prüfmethode.....	4
2.2.2	Alternative Prüfmethode – Strain Hardening Test .....	5
<b>3</b>	<b>Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Durchgeführte Arbeiten .....</b>	<b>8</b>
4.1	Material- und Bauteilwahl .....	8
4.1.1	Musterwerkstoff .....	8
4.1.2	Kommerziell erhältliche Bauteile.....	9
4.2	Optimierung der Probenherstellung aus Bauteilen.....	10
4.2.1	Folien/Bahnen.....	10
4.2.2	Behälter.....	11
4.2.3	Rohre .....	12
4.3	Untersuchung des Herstellereinflusses – Musterwerkstoff.....	13
4.3.1	Bauteilherstellung.....	13
4.3.2	Strain Hardening Tests .....	15
4.3.3	Material- bzw. Bauteilanalytik .....	16
4.4	Untersuchung des Herstellereinflusses – kommerziell erhältliche Bauteile .....	17
4.5	Konventionelle Spannungsrissprüfungen.....	17
4.6	Korrelationen und Bewertung .....	18
<b>5</b>	<b>Darstellung und Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>19</b>
5.1	Optimierung der Probenherstellung aus Bauteilen.....	19
5.1.1	Folien/Bahnen.....	19
5.1.2	Behälter.....	21
5.1.3	Rohre .....	29
5.2	Herstellereinfluss – Musterwerkstoff .....	35
5.2.1	Gepresste Platten .....	35
5.2.2	Spritzgegossene Platten .....	37
5.2.3	Extrudierte Rohre .....	41

---

5.3	Herstellereinfluss – kommerziell erhältliche Bauteile.....	45
5.3.1	Folien/Bahnen.....	45
5.3.2	Behälter.....	47
5.3.3	Rohre und Formteile.....	49
5.4	Konventionelle Spannungsrisssprüfung.....	55
5.4.1	Musterwerkstoff.....	55
5.4.2	Kommerziell erhältliche Bauteile.....	62
5.5	Korrelation von Strain Hardening Test und konventioneller Spannungs- risssprüfung.....	64
5.5.1	Musterwerkstoff.....	64
5.5.2	Kommerziell erhältliche Bauteile.....	65
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>70</b>