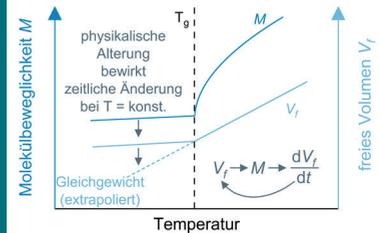


Einfluss physikalischer Alterung auf das Kriechverhalten von Thermoplasten



Berücksichtigung bei der zeitraffenden Bestimmung des Langzeit-Kriechverhaltens

Frédéric Achereiner, Kurt Engelsing, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

Einfluss physikalischer Alterung auf das Kriechverhalten von Thermoplasten

Berücksichtigung bei der zeitraffenden Bestimmung des Langzeit-Kriechverhaltens

1. Auflage

SKZ – Forschung und Entwicklung

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)

**Einfluss physikalischer Alterung auf das
Kriechverhalten von Thermoplasten**

Berücksichtigung bei der zeitraffenden Bestimmung
des Langzeit-Kriechverhaltens

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.

Autoren:

Dr.-Ing. Frédéric Achereiner

Dr.-Ing. Kurt Engelsing

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 978-3-8440-7868-8

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 • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19448 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 Forschungsstelle 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 SKZ Wissenschaftlern, den Mitarbeitern der SKZ Labore und Technika sowie den studentischen Mitarbeitern, die zum Gelingen beigetragen haben, sei für Ihren großen Einsatz und Ihr Engagement gedankt.

Kurzfassung

Das vorliegende Forschungsvorhaben betrachtet den Einfluss der physikalischen Alterung auf das Langzeit-Kriechverhalten von Thermoplasten. Der Fokus der Untersuchungen lag auf der Entwicklung eines pragmatischen Konzepts zur Abschätzung unbekannter Alterungsbedingungen, welches anschließend zur Verbesserung der Vorhersage des Kriechverhaltens angewendet werden.

Das pragmatischere Konzept, welches im Rahmen des Forschungsvorhabens verfolgt wurde, setzt auf der Effective Time Theory (ETT) von Struik auf. Allerdings wurden die dafür notwendigen Eingangsparameter, der Alterungszustand zum Beginn des Kriechversuchs (Voralterungszeit) und die Alterungsgeschwindigkeit während des Versuchs (Alterungsrate), nicht mit großem experimentellen Aufwand ermittelt. Vielmehr wurden dafür Schätzwerte herangezogen, dessen Ableitung auf einfach und schnell zu ermittelnden Materialeigenschaften wie E-Modul und Übergangstemperaturen basiert. Durch die Berücksichtigung der physikalischen Alterung konnte eine Verbesserung der Prognosegüte um z. T. einen Faktor 2 erreicht werden.

Besonders hervorzuheben ist die Entwicklung eines neuen Kriechmodells, welches den Potenzansatz nach Findley und die Effective Time Theory (ETT) kombiniert, um physikalisch alterungsbehaftete Langzeit-Kriechdaten besser modellieren zu können. Damit können Alterungszeit und Alterungsrate auch direkt aus gemessenen Kriechdaten durch Kurvenanpassung ermittelt werden. Das entwickelte Konzept ist auch auf teilkristalline Thermoplaste anwendbar. Das Kriechmodell wurde am Beispiel von Langzeitdaten für ein Polyamid (PA12) validiert.

Das Ziel des Forschungsvorhabens, die zeitraffende Vorhersage des Langzeit-Kriechverhaltens ohne großen zusätzlichen Prüfaufwand oder Mehrkosten noch genauer zu gestalten, wurde somit erreicht. Diese Erkenntnisse können direkt ohne zusätzliche Investitionen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) genutzt werden.

Abstract

The present research project investigates the influence of physical ageing on the long-term creep behaviour of thermoplastics. The research focused on the development of a pragmatic concept for the estimation of unknown ageing conditions, which is then applied to improve the prediction of creep behaviour.

The new concept was based on Struik's Effective Time Theory (ETT). However, no great experimental effort was made to determine the necessary input parameters, i.e. the ageing state at the beginning of the creep test (pre-ageing time) and the ageing rate during the test (ageing rate). It related rather on estimated values, which were derived from material properties that could be determined easily and quickly, such as Young's modulus and transition temperatures. Through the assessment of physical ageing, it was possible to improve the prediction quality up to a factor of 2 in most cases.

The development of a new creep model, which combines Findley's power approach and the Effective Time Theory (ETT) in order to better model long-term creep data affected by physical ageing, deserves special mention. With this approach, ageing time and ageing rate can also be determined directly from measured creep data by curve fitting. This approach can also be applied to semi-crystalline thermoplastics. The creep model was then validated using long-term data for a polyamide (PA12) as an example.

The research has thus achieved its goal of making the accelerated prediction of long-term creep behaviour even more accurate without requiring major additional testing effort or costs. These findings can be used directly to increase the competitiveness of small and medium-sized enterprises (SMEs) without additional investment.

Projektsteckbrief.....	III
1 Einleitung.....	1
1.1 Anlass für das Forschungsvorhaben	1
1.2 Problemstellung	1
1.3 Zielsetzung.....	2
2 Stand der Technik.....	3
2.1 Physikalische Alterung	3
2.2 Langzeit-Kriechverhalten	7
2.3 Effective Time Theory.....	11
3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	13
4 Durchgeführte Arbeiten.....	15
4.1 Materialien	15
4.1.1 Materialauswahl	15
4.1.2 Probekörperherstellung.....	15
4.2 Grundcharakterisierung	15
4.3 Definierte Voralterung der Probekörper	16
4.4 Charakterisierung des Ausgangs-Alterungszustands.....	16
4.5 Bestimmung der Alterungsrate	17
4.6 Erweiterung der <i>Effective Time Theory</i>	17
4.7 Anwendung des Konzepts auf teilkristalline Kunststoffe.....	18
5 Diskussion der Ergebnisse	19
5.1 Grundcharakterisierung	19
5.2 Definierte Voralterung der Probekörper	21
5.3 Charakterisierung des Alterungszustands.....	23
5.3.1 Dynamische Differenzkalorimetrie	23
5.3.2 Zugversuche	25
5.3.3 Nachweis der Thermoreversibilität	30
5.4 Bestimmung der Alterungsrate	31
5.4.1 Experimentelle Bestimmung	32
5.4.2 Abschätzung der Alterungsrate	34
5.5 Physikalische Alterung und Kriechverhalten	36
5.5.1 Definition der Effektivzeit.....	36
5.5.2 Berücksichtigung des Alterungsfortschritts während der Belastung..	38
5.5.3 Materialmodell für Kurvenanpassung	41
5.5.4 Übertragung auf eine andere Alterungszeit.....	42
5.5.5 Übertragung auf weitere Temperaturen und Spannungen.....	44
5.6 Anwendung des Konzepts auf teilkristalline Kunststoffe.....	45

6	Zusammenfassung.....	54
6.1	Handlungsempfehlungen.....	57
6.2	Ausblick	59
7	Literaturverzeichnis.....	61