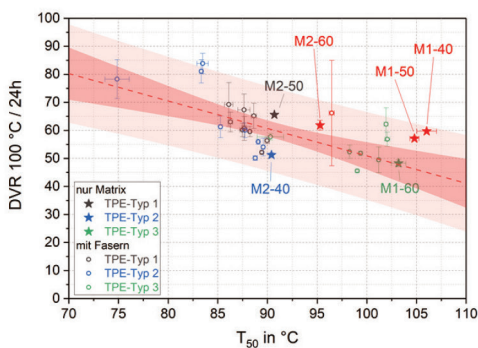


# Modifizierung styrolbasierter TPE mit Kurzfasern



© SKZ



© SKZ

Michael Bosse, Axel Nechwatal (TITK Rudolstadt), Frédéric Achereiner, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

# **Modifizierung von styrolbasierten TPE mit Kurzfasern**

1.Auflage



SKZ – Forschung und Entwicklung

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

**Modifizierung von styrolbasierten TPE mit Kurzfasern**

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:

Dr.-Ing. Michael Bosse

Dr. Axel Nechwatal\*

Dr.-Ing. Frédéric Achereiner

Dr. rer. nat. Thomas Hochrein

Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

(\* TITK Rudolstadt)

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 978-3-8440-8572-3

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 20837 BG der Forschungsvereinigung FSKZ e. V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

**Gefördert durch:**



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

**aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages**

Die Forschungseinrichtungen SKZ und TITK danken dem BMWK und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung und den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Unterstützung bei der Durchführung des Forschungsvorhabens.



## **Kurzfassung**

Der entscheidende technologische Vorteil von thermoplastischen Elastomeren (TPE) gegenüber vernetzten Elastomeren besteht darin, dass TPE entropieelastische Eigenschaften aufweisen, aber nicht chemisch vernetzt sind. TPE können immer wieder thermoplastisch umgeformt und einfach werkstofflich recycelt werden. Aus dem chemischen Aufbau resultiert auch, dass sie thermisch und dynamisch weniger belastbar sind als „klassische“ Gummierzeugnisse. Vor allem weisen sie eine hohe bleibende Verformung unter Last sowie eine deutlich höhere Kriechneigung bei langanhaltender oder dynamischer Beanspruchung auf.

Im vorliegenden Projekt wurde thermoplastisches Styrol-Elastomer (TPS) mit dem Ziel modifiziert, dass es sich im Rückstellverhalten und der dynamischen Belastbarkeit deutlich von konventionellen TPE abheben sollte. Der Ansatz dafür war die Zugabe von kurzen Fasern und kompatibilisierenden Additiven. Durch eine solche Modifizierung konnten in Voruntersuchungen mit vernetzten Elastomeren erhebliche Veränderungen im viskosen, mechanischen und thermischen Verhalten erzielt werden. Um die vielversprechenden Vorteile der Fasermodifizierung auch für TPE auszunutzen, wurden im Projekt technisch umsetzbare Lösungen gefunden, textilen Kurzschnitt gleichmäßig zu verteilen und die Fasern zu vereinzeln. Zudem wurde die Haftung zwischen der textilen Faser und der TPE-Matrix optimiert.

Zur Erreichung der genannten Projektziele wurden umfangreiche Verarbeitungs-, Formulierungs- und Prüfarbeiten durchgeführt, wissenschaftlich-technisch ausgewertet und im vorliegenden Bericht dargestellt. Ein statistischer Versuchsplan für die Zweischneckenextrusion wurde erstellt, bearbeitet und ausgewertet. Es wurden Rezepturen und Verfahrensparameter erarbeitet und dargestellt, welche die aussichtsreiche Herstellung und Industrialisierung eines mit 2 Gewichtsprozent PES-fasermodifizierten TPS der Härte 60 Shore-A erlauben und bietet deutliche Vorteile beim Druckverformungsrest unter hohen Temperaturen. Dieses Compound erweist sich zudem unter Temperatur und Last als mechanisch widerstandsfähiger und kann gleichzeitig alle technisch geforderten Eigenschaften der Flexibilität, Dynamik und Härte erfüllen.





## **Abstract**

The decisive technological advantage of thermoplastic elastomers (TPE) over crosslinked elastomers is that TPEs have entropy-elastic properties, but are not chemically crosslinked. TPEs can be thermoplastically formed again and recycled. But this chemical structure also means that they are less thermally and dynamically resilient than "classic" rubber products. Above all, they exhibit a relatively high permanent deformation under load and a higher tendency to creep under prolonged or dynamic stress.

In the present project, thermoplastic styrene elastomer (TPS) was modified with the aim that it should differ significantly from conventional TPEs in terms of recovery behavior and dynamic load capacity. The approach for this was the addition of short fibers and compatibilizing additives. Such modification resulted in remarkable changes in viscous, mechanical and thermal behavior in preliminary tests with crosslinked elastomers. To exploit the promising advantages of fiber modification also for TPE, technically feasible solutions were found in the project to distribute textile short cut evenly and to separate the fibers. In addition, the adhesion between the textile fiber and the TPE matrix was optimized.

To achieve the above-mentioned project objectives, extensive processing, formulation and testing work was carried out, scientifically and technically evaluated and presented in this report. A statistical test plan for twin-screw extrusion was prepared, processed and evaluated. Formulations and process parameters were worked out and presented, which allow the promising production and industrialization of a TPS of hardness 60 Shore-A modified with 2 wt. % PES fiber, which shows clear advantages in compression set under high temperatures. This compound also proves to be mechanically more resistant under temperature and load, while being able to meet all the technically required properties of flexibility, dynamics and hardness.



|          |                                                                       |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Projektsteckbrief.....</b>                                         | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Einleitung.....</b>                                                | <b>5</b>  |
|          | Anlass für das Forschungsvorhaben .....                               | 5         |
|          | Problemstellung.....                                                  | 5         |
|          | Zielsetzung.....                                                      | 6         |
| <b>3</b> | <b>Stand der Technik.....</b>                                         | <b>6</b>  |
|          | Thermoplastische Elastomere .....                                     | 6         |
|          | Additive und Hilfsstoffe.....                                         | 10        |
|          | Rezepturanteile.....                                                  | 11        |
|          | Faserwerkstoffe .....                                                 | 12        |
|          | Faserverstärkungen und Einfluss der Additive .....                    | 14        |
|          | Allgemeine Charakterisierung gummielastischer Werkstoffe .....        | 18        |
|          | Mathematische Werkstoffmodelle .....                                  | 20        |
|          | Spezifische Prüfungen und Bedingungen .....                           | 21        |
|          | Zeitabhängiges Verhalten.....                                         | 22        |
|          | Effekte von Kurzfasern in vernetzten Elastomeren.....                 | 25        |
| <b>4</b> | <b>Durchgeführte Arbeiten .....</b>                                   | <b>29</b> |
|          | 4.1 AP1: Voruntersuchungen Materialien und Compoundierverfahren... 29 |           |
|          | 4.2 AP 2: Integration von kommerziellem Kurzschnitt..... 31           |           |
|          | 4.3 AP 3: Integration speziell aufbereiteter Kurzschnitte .....       | 31        |
|          | 4.4 AP 4: Einarbeitung von Fasergranulat .....                        | 32        |
|          | 4.5 AP 5: Betrachtungen zu Haftvermittlern .....                      | 32        |
|          | 4.6 AP 6: Untersuchungen an Dip-Cord.....                             | 32        |
|          | 4.7 AP 7: Abstimmung der Basis-Rezepturen auf die Faser .....         | 33        |
|          | 4.8 AP 8: Zusammenhang zwischen Rezeptur und Faser-Effekt .....       | 33        |
|          | 4.9 AP 9. Thermische und dynamische Beständigkeit.....                | 34        |
|          | 4.10 AP 10. Upscaling und Herstellung von Demonstratoren .....        | 34        |
| <b>5</b> | <b>Darstellung und Diskussion der Ergebnisse.....</b>                 | <b>35</b> |
|          | 5.1 AP 1 Voruntersuchungen Materialien und Compoundierverfahren... 35 |           |
|          | 5.1.1 Allgemeines .....                                               | 35        |
|          | 5.1.2 Nullcompoundierung.....                                         | 35        |
|          | 5.1.3 Materialcharakterisierung der Matrices.....                     | 36        |
|          | 5.2 AP 2: Integration von kommerziellem Kurzschnitt.....              | 44        |
|          | 5.2.1 Allgemeines .....                                               | 44        |
|          | 5.2.2 Screening der Compoundherstellung am Zweischneckenextruder .... | 44        |
|          | 5.2.3 Folien-Direktcompoundierung und Haftvermittler (AP 5).....      | 49        |

|          |                                                                                                         |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.4    | Textile Verstärkung durch Ummantelung von Filamentgarn .....                                            | 65         |
| 5.3      | AP 3: Integration speziell aufbereiteter Querschnitte und AP 4:<br>Einarbeitung von Fasergranulat ..... | 69         |
| 5.3.1    | Dosierung von speziellen Natur- und Synthesefasern .....                                                | 69         |
| 5.3.2    | Verwendung von Langfasergranulat.....                                                                   | 73         |
| 5.4      | AP 7: Abstimmung der Basis-Rezepturen auf die Faser .....                                               | 86         |
| 5.5      | AP 8: Zusammenhang zwischen Rezeptur und Faser-Effekt .....                                             | 88         |
| 5.5.1    | Darstellung der einzelnen Bestimmtheitsmaße.....                                                        | 88         |
| 5.5.2    | Parametereinfluss.....                                                                                  | 89         |
| 5.5.3    | Versuchsreihenkennwerte und Identifikation von Beispielen .....                                         | 90         |
| 5.5.4    | Plausibilitätsprüfung und Einbeziehung weiterer Parameter .....                                         | 93         |
| 5.5.5    | Korrelationen auf die TSSR-Ergebnisse .....                                                             | 94         |
| <b>6</b> | <b>Fazit .....</b>                                                                                      | <b>102</b> |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                                                        | <b>104</b> |
| <b>8</b> | <b>Anhang .....</b>                                                                                     | <b>111</b> |
| <b>9</b> | <b>Stichwortverzeichnis .....</b>                                                                       | <b>120</b> |