

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Charakterisierung des Fließverhaltens  
thermoplastischer Elastomere (TPE)

Characterisation of flow behaviour  
of thermoplastic elastomers (TPE)

VDI 2020

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>	<b>Contents</b>	<b>Page</b>
Vorbemerkung .....	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>3</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>3</b>	<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>3</b>
<b>4 Formelzeichen und Abkürzungen.....</b>	<b>4</b>	<b>4 Symbols and abbreviations.....</b>	<b>4</b>
<b>5 Vorstellung der Messmethoden.....</b>	<b>5</b>	<b>5 Presentation of the measurement methods.....</b>	<b>5</b>
5.1 Methodenübersicht.....	5	5.1 Method overview.....	5
5.2 Oszillations- bzw. Rotationsrheometer.....	6	5.2 Oscillation or rotation rheometer.....	6
5.3 Schmelze-Massefließrate/ Schmelze-Volumenfließrate.....	8	5.3 Melt mass-flow rate/ melt volume-flow rate.....	8
5.4 Hochdruck-Kapillarrheometrie.....	9	5.4 High-pressure capillary rheometry.....	9
5.5 Extrusionsrheometer.....	10	5.5 Extrusion rheometer.....	10
5.6 Fließwegspirale.....	11	5.6 Flow path spiral.....	11
5.7 Messkneter.....	12	5.7 Measuring kneader.....	12
<b>6 Vorstellung der Materialien.....</b>	<b>12</b>	<b>6 Presentation of the materials.....</b>	<b>12</b>
6.1 Werkstoffbeschreibung TPA.....	12	6.1 Material description TPA.....	12
6.2 Werkstoffbeschreibung TPC.....	13	6.2 Material description TPC.....	13
6.3 Werkstoffbeschreibung TPO.....	14	6.3 Material description TPO.....	14
6.4 Werkstoffbeschreibung TPS.....	15	6.4 Material description TPS.....	15
6.5 Werkstoffbeschreibung TPU.....	15	6.5 Material description TPU.....	15
6.6 Werkstoffbeschreibung TPV.....	16	6.6 Material description TPV.....	16
<b>7 Probenvorbereitung.....</b>	<b>16</b>	<b>7 Sample preparation.....</b>	<b>16</b>
<b>8 Methodenauswahl je Materialtype.....</b>	<b>17</b>	<b>8 Method selection per material type.....</b>	<b>17</b>
8.1 Für TPA.....	17	8.1 For TPA.....	17
8.2 Für TPC.....	18	8.2 For TPC.....	18
8.3 Für TPO.....	20	8.3 For TPO.....	20
8.4 Für TPS.....	22	8.4 For TPS.....	22
8.5 Für TPU.....	23	8.5 For TPU.....	23
8.6 Für TPV.....	25	8.6 For TPV.....	25
<b>9 Zusammenfassung.....</b>	<b>27</b>	<b>9 Summary.....</b>	<b>27</b>
<b>10 Ergebnisdokumentation, Auswertung und Interpretation.....</b>	<b>27</b>	<b>10 Documentation of results, evaluation, and interpretation.....</b>	<b>27</b>
Schrifttum.....	28	Bibliography.....	28

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)

Fachbereich Kunststofftechnik

VDI-Handbuch Kunststofftechnik  
VDI-Handbuch Werkstofftechnik

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Weitere aktuelle Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2020](http://www.vdi.de/2020).

## Einleitung

Der weltweit bekannte Ausspruch des altgriechischen Philosophen Heraklit – *panta rhei* – steht für die Übersetzung „alles fließt“, wobei gemeint ist, dass das Leben einem ständigen Fluss unterworfen ist. Später haben Wissenschaftler dieses Modell übernommen und gesagt, dass jedes Material auf Erden fließt und so entstand der Begriff der „Rheologie“ für die Beschreibung des Fließverhaltens von Stoffen.

Heruntergebrochen auf die Kunststoffgruppe der thermoplastischen Elastomere (TPE) spielt die Rheologie eine wesentliche Rolle, da die Verarbeitungsparameter und das Fließverhalten der Schmelzen einen spürbaren Einfluss auf die Materialeigenschaften des gefertigten Körpers haben. Insofern ist es ratsam, die rheologischen Eigenschaften eines TPE zu kennen, bevor mit der thermoplastischen Verarbeitung desselben begonnen wird.

Im Allgemeinen wird die Viskosität einer Schmelze unter definierten Druck- und Temperaturverhältnissen ermittelt, wobei sich der Zusammenhang aus dem newtonschen Gesetz ergibt. Die Viskosität  $\eta$  ist dem Quotienten aus Schubspannung  $\tau$  und der Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  gleich, sofern es sich um Flüssigkeiten handelt. Unter ein paar Annahmen kann diese Formel auf Polymerschmelzen angewendet werden.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Die Schubspannung  $\tau$  betrachtet die Kräfte, die auf die Schmelze einwirken. Die Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  ergibt sich aus dem Geschwindigkeitsunterschied der angenommenen Strömungsschichten der Schmelze. Da die Viskosität von Polymerschmelzen vieler TPE mit zunehmender Scherung abnimmt, spricht

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Further current information is available on the Internet at [www.vdi.de/2020](http://www.vdi.de/2020).

## Introduction

The worldwide known saying of the ancient Greek philosopher Heraclitus – *panta rhei* – stands for the translation “everything flows”, meaning that life is subject to a constant flow. Later, scientists adopted this model and said that every material on earth flows, thus giving rise to the term “rheology” to describe the flow behaviour of substances.

Broken down to the plastics group of thermoplastic elastomers (TPE), rheology plays an essential role, as the processing parameters and the flow behaviour of the melts have a noticeable influence on the material properties of the manufactured body. In this respect, it is advisable to know the rheological properties of a TPE before starting to process it thermoplastically.

In general, the viscosity of a melt is determined under defined pressure and temperature conditions, the relationship resulting from Newton’s law. The viscosity  $\eta$  is to be equal to the quotient of the shear stress  $\tau$  and the shear rate  $\dot{\gamma}$ , provided that liquids are involved. Under a few assumptions, this formula can be applied to polymer melts.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

The shear stress  $\tau$  considers the forces acting on the melt. The shear rate  $\dot{\gamma}$  results from the difference in velocity of the assumed flow layers of the melt. Since the viscosity of polymer melts of many TPEs decreases with increasing shear, these so-called “non-Newtonian” fluids are referred to as having a

man bei diesen sogenannten „nicht newtonschen“ Flüssigkeiten von einer Strukturviskosität. Die unterschiedlichen Verarbeitungsmethoden zur Herstellung von Körpern oder Bauteilen zeigen auch unterschiedliche Druck- und Scher-Bedingungen, die einen Einfluss auf das Verarbeitungsverhalten und die Fertigteileigenschaften haben.

Zur Ermittlung der rheologischen Eigenschaften des jeweiligen Materials unterliegt man immer dem Kompromiss aus Aufwand und Nutzen. Manchmal genügt es, eine einfache Methode mit geringer Aussagekraft anzuwenden, sofern es für eine Einschätzung genügt. Manchmal sind umfangreichere Methoden notwendig, wenn die Ergebnisse einer simplen Messung nicht genügen oder sich das Material während der Messung verändert. Daher werden in dieser Richtlinie verschiedene Methoden zur Ermittlung der Fließeigenschaften von TPE vorgestellt, beschrieben und für die jeweiligen Produktfamilien bewertet.

## 1 Anwendungsbereich

Inhaltlich bezieht sich diese Richtlinie auf Polymer-schmelzen, die mit den nachfolgend beschriebenen Methoden hinsichtlich ihres Fließverhaltens charakterisiert werden können und nicht auf Polymerlösungen oder Materialien im festen Zustand.

Ziel dieser Richtlinie ist es, die Auswahl der geeigneten Methode zur Beschreibung der Fließfähigkeit von Polymerschmelzen aus der Produktfamilie der thermoplastischen Elastomere (TPE) zu unterstützen sowie Vorteile und Grenzen der jeweiligen Methoden aufzuzeigen. Sie soll auf dieser Grundlage zu einer besseren Nachvollziehbarkeit von Spezifikationen und Grenzwerten beitragen und die Abstimmung zwischen Verarbeitern und Materialherstellern bei der Materialauswahl und der Qualitätskontrolle bzw. der Qualitätssicherung erleichtern.

structural viscosity. The different processing methods used to produce bodies or components also exhibit different pressure and shear conditions, which have an influence on the processing behaviour and the finished part properties.

To determine the rheological properties of the respective material, one is always subject to the compromise of effort and benefit. Sometimes it is sufficient to use a simple method with low significance, as long as it is sufficient for an assessment. Sometimes more extensive methods are necessary if the results of a simple measurement are not sufficient or if the material changes during the measurement. Therefore, in this standard, different methods for determining the flow properties of TPE are presented, described, and evaluated for the respective product families.

## 1 Scope

In terms of content, this standard refers to polymer melts that can be characterised with regard to their flow behaviour using the methods described below and not to polymer solutions or materials in the solid state.

The aim of this standard is to support the selection of the appropriate method for describing the flowability of polymer melts from the product family of thermoplastic elastomers (TPE), as well as to show the advantages and limitations of the respective methods. On this basis, it should contribute to a better comprehensibility of specifications and limit values and facilitate the coordination between processors and material manufacturers in the selection of materials and quality control or quality assurance.