

# Läuft wie geschmiert

Im „Block auf Ring“-Versuch werden die Reibungs- und Verschleißmessungen der PEEK-Proben durchgeführt (Foto: NanoProfile)

**PEEK.** Ein speziell hinsichtlich tribologischer Eigenschaften entwickeltes PEEK-Compound besitzt eine gute Verschleißbeständigkeit bei gleichzeitig extrem niedriger Reibung. Das konnten entsprechende Tests exakt belegen. Potenzielle Anwendungen der Hochleistungscompounds finden sich im Metallersatz hochbelasteter Bauteile, z.B. Zahnräder.

**MARKO GUTERL**

**B**asierend auf dem Hochleistungskunststoff Polyetheretherketon (PEEK) von Evonik Industries AG, Marl, hat die Leis Polytechnik polymere Werkstoffe GmbH, Ramstein, ein Compound für tribologische Anwendungen entwickelt.

Die tribologischen Eigenschaften des Produkts Triboforce PEEK C2301 ließ der Compoundeur bei der NanoProfile GmbH, Kaiserslautern, durch vergleichende Reibungs- und Verschleißmessungen auf einem Labortribometer untersuchen. Im Vergleich dazu prüfte man gleichzeitig zwei kommerzielle Werkstoffe (WG 101 und WG 102) der Victrex Europa GmbH, Hofheim. Die Tests wurden

nach dem „Block auf Ring“-Prinzip in enger Anlehnung an die Richtlinie ASTM G 137 durchgeführt. Dabei wurden die Versuchsparameter so gewählt, dass sich bei einer Gleitstrecke von nur 21600 m ein bereits deutlich messbarer Verschleiß einstellte. Auf dem verwendeten Atlas TT-Prüfstand (**Bild 1**) konnten jeweils vier Proben gleichzeitig untersucht werden. Demzufolge ist der Durchsatz solcher „Block auf Ring“-Messungen deutlich höher als bei entsprechenden Bauteilversuchen. Auch der Zeitaufwand, der für eine gute statistische Absicherung der Messergebnisse benötigt wird, ist sehr viel geringer als bei Bauteilversuchen.

**Die Prüfbedingungen**

Bei der „Block auf Ring“-Prüfung (**Titelbild**) wird eine quaderförmige Probe mit definierter Kraft gegen einen rotierenden

Gegenkörper gedrückt. Unter dem Einfluss dieser Kraft und der Relativbewegung zwischen der Werkstoffprobe und dem Gegenkörper kommt es zur Ausbildung einer Reibkraft und zu einem fortschreitenden Materialverlust der Werkstoffprobe. Beide Effekte werden während der gesamten Messung hochgenau zeitaufgelöst erfasst und aufgezeichnet.

Die für die Reibungs- und Verschleißmessungen benötigten Kunststoffproben

**i Kontakt**

**Leis Polytechnik  
polymere Werkstoffe GmbH  
D-66877 Ramstein  
TEL +49 6371 9635-29  
→ [www.leis-polytechnik.de](http://www.leis-polytechnik.de)**

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110921

wurden bei NanoProfile aus Zugstäben hergestellt. Bei einem fasergefüllten Kunststoff, dessen Faserorientierungsverteilung eine Vorzugsrichtung aufweist, hängen die Reibungs- und Verschleißseigenschaften von der Orientierung zwischen dieser und der Gleitrichtung ab. Bei Kunststoffgranulaten mit kurzen, zufällig orientierten Kurzfasern kann eine Vorzugsrichtung während der Formgebung, z. B. durch Spritzgießen oder Profilextrusion, entstehen.

So bildet sich beim Spritzgießen des Zugstabs von kurzfaserverstärkten Kunststoffen im Mittelteil des Stabs häufig ein hoher Orientierungsgrad in axialer Richtung aus. Aus einem solchen Zugstab können deshalb Proben unterschiedlicher Faserorientierung entnommen und geprüft werden. Für faserverstärkte Werkstoffe existieren drei unterschiedliche Orientierungen zwischen der Vorzugsrichtung der Fasern zur Reibfläche und zur Laufrichtung (Bild 2).

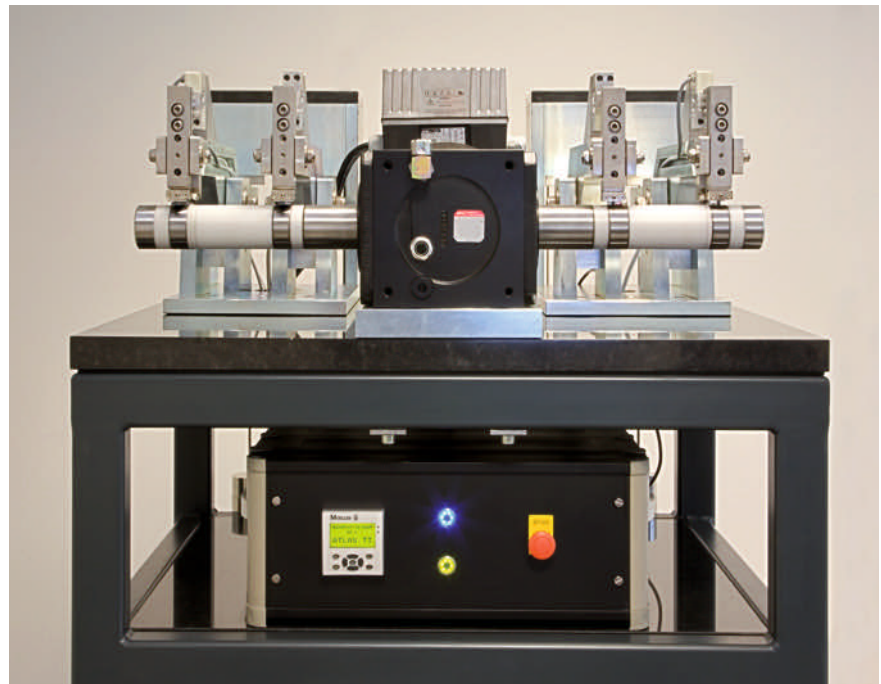
Da in den meisten technischen Anwendungen eine parallele Faserorientierung vorliegt, wurden die Reibungs- und Verschleißmessungen mit entsprechenden Probekörpern durchgeführt. Darüber hinaus wurden Probekörper mit normaler Faserorientierung untersucht. Alle untersuchten Proben wurden in einer Klimakammer vor Beginn und nach Abschluss der Messungen gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 291 und der ASTM D 618 für jeweils 40 h bei 23 °C und 50 % rF gelagert.

### Die Messungen

Es wurden trocken laufende Gleitverschleißmessungen durchgeführt. **Tabelle 1** fasst die Beanspruchungs- und Umgebungsparameter dieser Messungen zusammen.

Parameter	Trockenlauf
Flächenpressung	5 MPa
Gleitgeschwindigkeit	1,0 m/s
Gleitstrecke	21 600 m
Schmiermedium	keins
Schmiermittelzufuhr	n. a.
Gegenkörper	100Cr6: 60 HRC, Ra = 0,15 µm
Temperierung	erzwungene Konvektion
Verschleißmessung	zeitaufgelöst
Reibkraftmessung	zeitaufgelöst
Dokumentierte Umgebungsbedingungen	Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit

**Tabelle 1. Zusammenfassung der Beanspruchungs- und Umgebungsparameter der durchgeführten Gleitverschleißmessungen** (Quelle: Leis Polytechnik)



**Bild 1. Der Prüfstand „Atlas TT“ zur Bestimmung von Reibung und Verschleiß** (Foto: NanoProfile)

Da der „Atlas TT“-Prüfstand über vier voneinander unabhängige Messstellen verfügt, wurden pro Durchgang vier Einzelversuche durchgeführt. Die in allen Durchgängen beobachteten Einzelwerte für Reibung, Verschleiß und Gegenkörpertemperatur wurden zu Stichproben zusammengefasst und diese gemäß dem jeweils neuesten Stand der einschlägigen DIN-Normen (wie z. B. DIN 55303 oder DIN 53804, Teil 1) analysiert. Im Rahmen dieser statistischen Auswertung wurden für Reibung, Verschleiß und Gegenkörpertemperatur zunächst jeweils die möglicherweise vorhandenen Ausreißer eliminiert und anschließend die arithmetischen Mittelwerte  $\bar{x}$  und die zugehörigen Standardabweichungen  $s$  ermittelt.

Der aus der Stichprobe berechnete Mittelwert wurde hierbei als Schätzwert

für die Lage des Verteilungsmittels der Grundgesamtheit verwendet. Analog hierzu schätzt die Standardabweichung als Maß für Abweichung einzelner Messwerte vom Mittelwert die Einzelwertstreuung der Grundgesamtheit ab. Als alleiniges Maß für die Bestimmtheit des berechneten Mittelwerts kann sie jedoch nicht herangezogen werden.

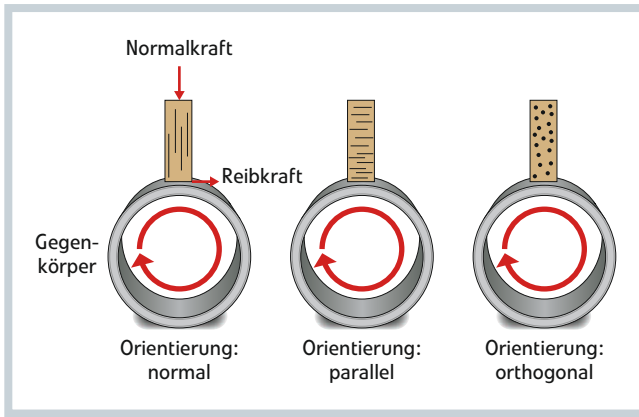
Genau diese Aussage macht das Vertrauensintervall, das sich mit dem Mittelwert  $\bar{x}$  und der Standardabweichung  $s$  der Stichprobe und dem Stichprobenumfang  $n$  zu

$$\left[ \bar{x} - \frac{s \cdot t_{\beta}(n)}{\sqrt{n}}; \bar{x} + \frac{s \cdot t_{\beta}(n)}{\sqrt{n}} \right]$$

ergibt, wobei  $t_{\beta}(n)$  der Student-Faktor zur Stichprobengröße  $n$  und  $\beta$  das Signifikanzniveau ist. Das Vertrauensintervall ist also derjenige Wertebereich, in dem der tatsächliche Wert, d. h. der Mittelwert der Grundgesamtheit, mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\beta$  enthalten ist. Das Signifikanzniveau kann vom Experimentator weitgehend frei gewählt werden, wobei 95 % ein in technisch-wissenschaftlichen Untersuchungen häufig verwendeter Wert ist. Für die durchgeführten Untersuchungen wurde deshalb auch durchgängig ein Signifikanzniveau von 95 % gewählt.

### Die Ergebnisse

**Tabelle 2** fasst die numerischen Ergebnisse, d. h. die spezifischen Verschleißraten →



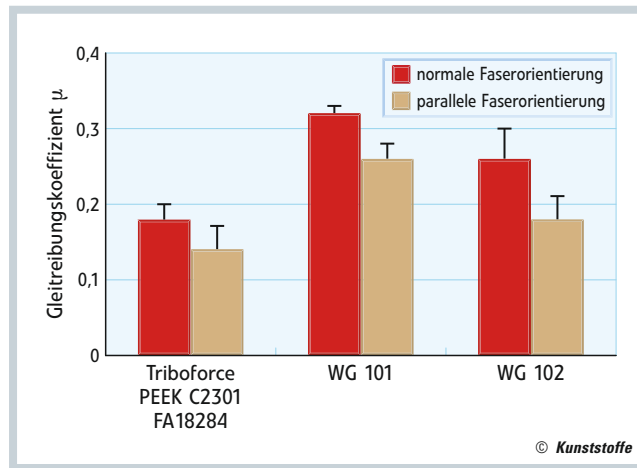
**Bild 2. Für faserverstärkte Kunststoffe existieren drei unterschiedliche Orientierungen zwischen Verstärkungsfasern, Gleitrichtung und Reibfläche** (Quelle: NanoProfile)

bei gleichzeitig extrem niedriger Reibung und einem sehr kurzen Einlaufverhalten tribologisch am leistungsfähigsten. WG 102 besitzt zwar ebenfalls eine niedrige Reibung, ist jedoch nicht ganz so verschleißbeständig wie Triboforce PEEK. Darüber hinaus weist WG 102 einen ausgeprägten Einlauf mit einer Reibungsüberhöhung auf. Der tribologisch leistungsschwächste Werkstoff in dieser Versuchsreihe ist WG 101 mit hoher Reibung und einem ebenfalls ausgeprägten Einlauf mit einer Reibungserhöhung. ■

$w_s$ , die Höhenverschleißraten  $w$  und die Gleitreibungskoeffizienten  $\mu$ , der im trockenen Gleiten durchgeführten Prüfungen zusammen. Die gemessenen Werte sind mit ihren Vertrauensbereichen angegeben.

Die ermittelten Messwerte zeigen, dass hinsichtlich Reibung und Verschleiß zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den drei Werkstoffen bestehen. Triboforce PEEK und WG 101 besitzen bei einer normalen Faserorientierung im Probekörper beide eine spezifische Verschleißrate von etwa  $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . WG 102 ist mit einem Wert von  $0,45 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  etwas verschleißbeständiger.

Unterschiede zwischen den drei Werkstoffen treten insbesondere bei einer parallelen Faserorientierung auf. Diese Faserorientierung findet sich vorwiegend in technischen Bauteilen wieder. Entsprechend sollten Reibungs- und Verschleißmessungen möglichst mit paralleler Faserorientierung durchgeführt werden. Für die drei untersuchten Werkstoffe ergibt sich dabei eine andere Rangfolge als mit normaler Faserorientierung. Triboforce PEEK besitzt hier mit  $0,26 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  die niedrigste spezifische Verschleißrate und ist somit auch am verschleißbeständigsten. WG 102 liegt mit  $0,31 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  im Mittelfeld. Am wenigsten verschleißbeständig ist WG



**Bild 3. Vergleich von Gleitreibungskoeffizienten der vermessenen PEEK-Proben** (Quelle: Leis Polytechnik)

101 mit einem Wert von  $0,49 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Ein weiterer technisch relevanter Unterschied zeigt sich hinsichtlich des Gleitreibungskoeffizienten  $\mu$  (Bild 3). Dieser liegt für Triboforce PEEK bei normaler Faserorientierung bei einem Wert von 0,18 und bei paralleler Faserorientierung bei 0,14. Im Gegensatz dazu weist WG 101 mit 0,26 in paralleler Faserorientierung fast die doppelte Reibung auf. WG 102 besitzt mit 0,18 in paralleler Faserorientierung ebenfalls einen vergleichsweise niedrigen Gleitreibungskoeffizienten.

Insgesamt ist Triboforce PEEK aufgrund der guten Verschleißbeständigkeit

**DER AUTOR**

MARKO GUTERL, geb. 1964, ist bei der Leis Polytechnik polymere Werkstoffe GmbH, Ramstein, als Leiter Anwendungstechnik und Entwicklung tätig; info@leis-polytechnik.de

**SUMMARY SMOOTH PERFORMANCE**

A PEEK compound specially developed to have optimal tribological properties has good wear resistance whilst at the same time having extremely low friction. A range of tests were able to quantify this. Potential applications of these high performance compounds can be found in metal replacement in highly loaded components such as gears.

Read the complete article in our magazine

**Kunststoffe international** and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

Werkstoff (Charge)	Hersteller	Faserorientierung	Spezifische Verschleißrate $w_s$ [ $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ]	Höhenverschleißrate $w$ [ $\mu\text{m}/\text{h}$ ]	Gleitreibungskoeffizient $\mu$
Triboforce PEEK C2301 (FA 18284)	Leis Polytechnik GmbH	normal	$0,6 \pm 0,2$	$11 \pm 4$	$0,18 \pm 0,02$
		parallel	$0,26 \pm 0,05$	$4,6 \pm 0,9$	$0,14 \pm 0,03$
WG 101 (unbekannt)	Victrex plc	normal	$0,62 \pm 0,04$	$11,1 \pm 0,7$	$0,32 \pm 0,01$
		parallel	$0,49 \pm 0,02$	$8,9 \pm 0,3$	$0,26 \pm 0,02$
WG 102 (unbekannt)	Victrex plc	normal	$0,45 \pm 0,01$	$8,2 \pm 0,2$	$0,26 \pm 0,04$
		parallel	$0,35 \pm 0,06$	$6 \pm 1$	$0,18 \pm 0,03$

**Tabelle 2. Numerische Ergebnisse der Gleitverschleißmessungen aller untersuchten PEEK-Compounds** (Quelle: Leis Polytechnik)