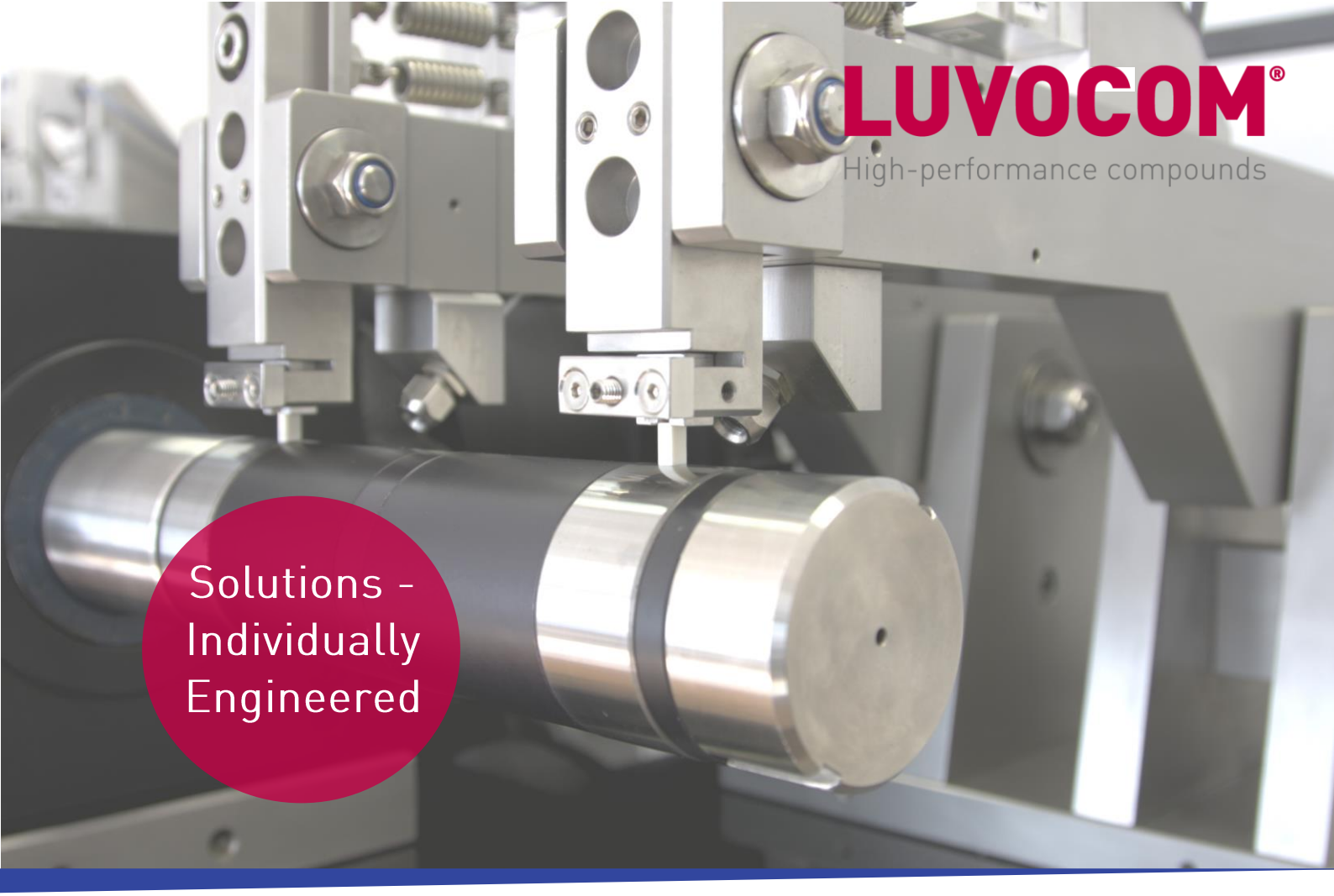


Leitfaden Tribologie

Customized Polymer Materials

TRIBOLOGIE

LEHVOSS Group

Inhalt

Seite

Maßgeschneiderte Materialien 3
Tribologie – Von Anfang an unser Thema 3
Kunststoffe in der Tribologie 4
Ermittlung von tribologischen Kennwerten 10
Unsere Prüfmethoden 13
Verbesserung der tribologischen Materialeigenschaften 15
Die wichtigsten tribologisch wirksamen Zusätze für Polymere 16
Praxisbezogene Untersuchungen 22
Anwendungsbeispiele 24
LUVOCOM-Produkt-Highlights 26
Fazit 29

Maßgeschneiderte Materialien

Leistungsfähigere Bauteile bei gleichzeitig geringeren Systemkosten – dies ermöglichen unsere thermoplastischen LUVOCOM®-Hochleistungs-Compounds. Dabei sind die Materialeigenschaften genau auf die Anwendung und das Verarbeitungsverfahren abgestimmt. Unsere Produkte stehen seit 1984 weltweit für Qualität und Zuverlässigkeit. Die LEHVOSS Group mit dem Geschäftsbereich Customized Polymer Materials ist Partner der Industrie in puncto Materialauswahl, -entwicklung, -herstellung, anwendungstechnischer Beratung und Unterstützung, von der Konstruktion bis zur Fertigung.

Tribologie – Von Anfang an unser Thema

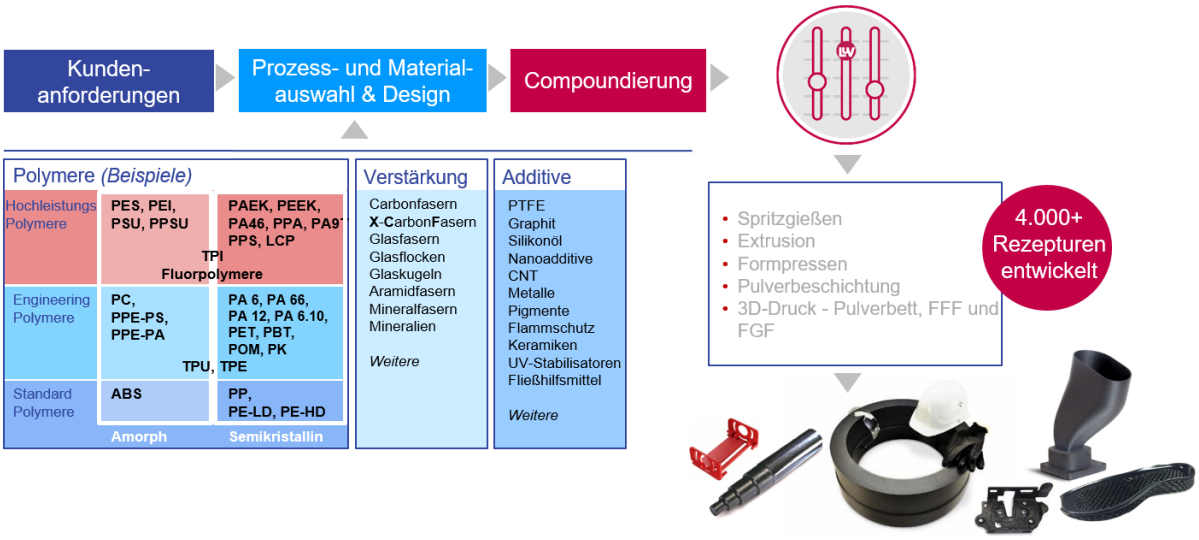
Polymere sind für viele tribologische Systeme die einzig in Frage kommende Materialalternative, vor allem wenn eine zusätzliche Schmierung nicht gewünscht wird. Sie bieten zahlreiche Vorteile, wie geringe Dichte, gute Korrosionsbeständigkeit, kostengünstige Verarbeitung, und sind in vielen Fällen auch verschleißfester als klassische Lösungen aus Metall.

Einer unserer Schwerpunkte sind tribologisch optimierte Polymere für bewegte Bauteile, wie Gleitlager, Zahnräder, Rollen, Gleiter, in unzähligen Anwendungen. Durch integrierte Gleitmittel und Verstärkungsstoffe verbessern wir das Verschleiß-, Reib- und Einlaufverhalten von Polymeren und somit des tribologischen Systems. Dies ermöglicht wartungsfreie oder –arme Systeme, die ohne zusätzliche Schmierung funktionieren. In geschmierten Baugruppen kommen die Notlaufeigenschaften dieser Werkstoffe zum Tragen und erhöhen damit die Sicherheit für den Konstrukteur und den Anwender.

Für eine anwendungsgerechte Materialauswahl bieten wir umfangreiche Kapazitäten in der Materialentwicklung, -prüfung und -beratung. Unsere jahrzehntelange Erfahrung auf diesem Gebiet hilft dem Bauteilentwickler schneller an das Ziel zu kommen und der Anwender erhält leistungsfähigere Produkte.

Unser Leistungsangebot

- Maßgeschneiderte Werkstoffe mit anwendungsspezifischen Modifikationen für anspruchsvolle Anwendungen
- Auswahl von Polymer, Verstärkung & Additiven gemäß Anwendungsanforderung
- Kurze Materialentwicklungszeit und Umsetzung in die Serienproduktion
- Ein Marktführer für:
    - Thermoplaste mit tribologischer Modifikation
    - Thermoplaste mit Carbonfaserverstärkung
    - Compounds auf Basis PAEK (Polyaryletherketone, z.B. PEEK)
    - 3D-Werkstoffe für die individualisierte Massenfertigung
- Umfangreiche Erfahrung mit mehr als 4.000 entwickelten Hochleistungs-Compounds, davon rund 700 tribologisch optimiert
- Anerkannter Entwicklungspartner von OEMs, Systemlieferanten und Verarbeitern

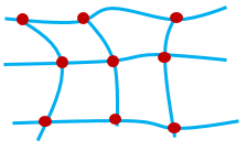
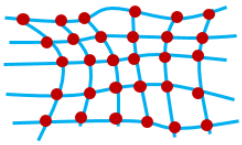


Maßgeschneiderte Werkstoffe nach Anwendungs- und Verarbeitungsanforderung

Kunststoffe in der Tribologie

LUVOCOM®-Compounds basieren ausschließlich auf thermoplastischen Polymeren. Diese werden typischerweise anhand ihrer thermischen Eigenschaften, in Standard-, technische - und Hochleistungskunststoffe (auch Hochtemperatur-Kunststoffe) unterteilt. Letztere sind Thermoplaste mit einer Dauergebrauchstemperatur von mehr als 140°C. Die Festigkeitswerte von thermoplastischen Kunststoffen sind temperaturabhängig und nehmen vor allem ab Überschreiten der Glasübergangstemperatur (Tg) deutlich ab.

Innerhalb der Thermoplaste gibt es die Klassen der amorphen und der teilkristallinen Polymere. Hiermit wird die Ausrichtung der Makromoleküle im erstarrten Zustand beschrieben.

Thermoplaste		Elastomere	Duroplaste
Ungeordnete Struktur	Geordnete Struktur		
			
amorph	teilkristallin	weitmaschig vernetzt	engmaschig vernetzt

Tribologisch zeigen die teilkristallinen Polymere meist ein besseres Verhalten. Aufgrund ihrer kristallinen Strukturanteile weisen sie unter anderem eine höhere Verschleißbeständigkeit, geringere Reibwerte und eine allgemein bessere chemische Beständigkeit auf. Dies wird im nachfolgenden Vergleich ausgewählter Verschleißfaktoren (K) deutlich. Der Verschleißfaktor beschreibt den Verschleiß eines Materials, der bei bestimmtem Druck über einen Reibweg entsteht (siehe Seite 11).

Amorphe Polymere		Teilkristalline Polymere	
	Verschleißfaktor K		*Verschleißfaktor K*
PS	5800	PE	350
SAN	5800	PP	340
ABS	6800	PBT	410
PC	4900	PA6	390
PA amorph	1200	PA66	390
PSU	2900	PA612	370
PES	2900	PA610	350
PEI	7800	PA11	350
PPE	5900	POM	125
		PPS	1050
		PEEK	390
		TPU	665

Verschleißfaktoren verschiedener Polymere (systemabhängig)

Trotz ihres schlechteren Verschleißverhaltens ist es oft erforderlich, dass amorphe Thermoplaste bei Präzisionskunststoffteilen und eng tolerierten, sowie verzugsarm herzustellenden Bauteilen aufgrund Ihrer besseren Schwindungsisotropie eingesetzt werden. Treten an diesen Bauteilen tribologische Beanspruchungen auf, ist eine Modifizierung mit Gleitmitteln meist unabdingbar.

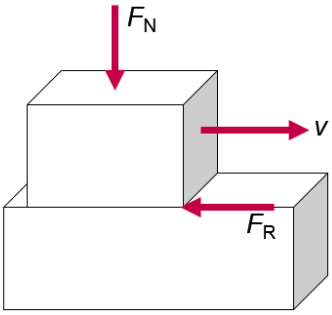
Für das Bewähren von Kunststoffteilen in der Praxis ist die Temperaturbeständigkeit und das Temperaturverhalten oftmals eine entscheidende Größe. Ausreichend temperaturbeständig ist ein Kunststoff dann, wenn unter Berücksichtigung des jeweiligen Verwendungszweckes bei zeitlich begrenztem Einwirken von Wärme und unter sonst praxisnahen Umweltbedingungen keine den Gebrauchswert des Teiles beeinträchtigende Minderung eintritt. Bei der Erwärmung thermoplastischer Kunststoffe treten physikalische und chemische Veränderungen ein, wobei die physikalischen meist reversibel und die chemischen irreversibel sind. Die physikalischen, reversiblen Veränderungen bewirken bei kurzzeitiger Erwärmung ein Absinken der mechanischen Festigkeitswerte, bei längerer Einwirkungszeit der Erwärmung können irreversible chemische Veränderungen hinzukommen. Die Festigkeitswerte von thermoplastischen Kunststoffen sind temperaturabhängig.

Die grundsätzlichen Betrachtungen zum Temperaturverhalten von Kunststoffen sind wichtig, da bei hochbelasteten und tribologisch beanspruchten Bauteilen die Reibung vor allem als Wärme freigesetzt wird, was häufig den Einsatz von HT-Kunststoffen erforderlich macht. Unterschiede zwischen einer mechanischen und einer tribologischen Beanspruchung sind folgende:

- In Abgrenzung zu einer rein mechanischen Beanspruchung findet eine tribologische Beanspruchung vor allem in den Oberflächenbereichen zueinander bewegter Bauteile statt.
- Bei tribologischen Beanspruchungen kann es außer kräftemäßigem auch zu stofflichem Wechselwirken zwischen den Reibpartnern kommen

Man unterscheidet allgemein zwischen der Bewegungsreibung (dynamische Reibung; Reibung zwischen relativ zueinander bewegten Körpern) und Ruhereibung (statische Reibung; Reibung zwischen relativ zueinander ruhenden Körpern, bei denen die Schubkraft nicht ausreicht, um eine Relativbewegung hervorzurufen).

Reibkraft F_N = Normalkraft F_R x Reibungszahl f

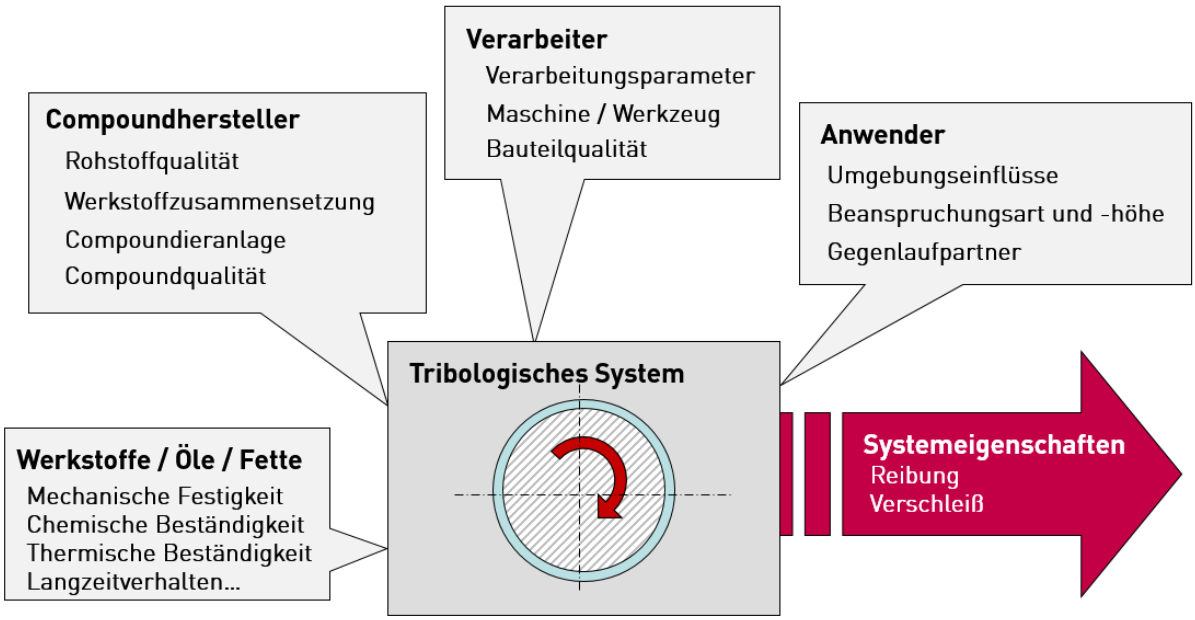


Die Reibungszahl f ergibt sich aus dem Quotienten der Normalkraft (F_N) und Reibkraft (F_R),
v = Geschwindigkeit

Der mit dem Reibungsvorgang verbundene Verschleiß ist grundsätzlich unerwünscht (Ausnahmen: Schulkreide und Bleistift), während die Reibungszahl f (auch Reibungskoeffizient μ oder Reibwert genannt) selbst je nach Art des tribologischen Systems variieren kann und oft auch soll. Sie liegt bei Tribopolymeren in ungeschmierten Systemen typischerweise zwischen 0,1 und 0,5. LEHVOSS bietet hier Compounds mit Reibungszahlen ab 0,04. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass tribologische Eigenschaften keine spezifischen Werkstoffeigenschaften, sondern Eigenschaften eines Gesamtsystems sind.

Das tribologische System

Zu einem tribologischen System gehören nicht nur die in Relativbewegung zueinander stehenden Bauteile, sondern auch Medien, wie beispielsweise Schmierstoffe, Chemikalien, und Schlamm, die sich zwischen den Reibungsflächen befinden können. Für jedes tribologische System ist das Beanspruchungsprofil genau zu definieren; hiervon hängt dann die Dimensionierung und die Oberflächenausbildung der Bauteile, die Werkstoffauswahl, die Auswahl der Schmierungsart und letztendlich die einwandfreie und zuverlässige Funktion des Bauteils ab.



Das tribologische System – Die Systemeigenschaften sind abhängig von den gewählten Parametern und der Qualität von Werkstoffen und des gefertigten Bauteils

Folgende Parameter sind bei der Festlegung des Pflichtenheftes für das Beanspruchungsprofil zu beachten:

- Art des Bewegungsablaufes (kontinuierlich in eine Richtung, intermittierend oder oszillierend)
- Normalkräfte und Flächenpressung
- Höhe der mechanischen Belastungen (statisch und dynamisch)
- Relative Geschwindigkeit zwischen den Gleitpartnern
- Beanspruchungsdauer (Zeit oder Weg, dauernd oder mit Unterbrechungen)
- Temperaturen (Umgebungstemperaturen und zusätzlich auftretende Reibungstemperatur)
- Einwirkende Medien und die zu erwartenden Umweltbedingungen im Serieneinsatz
- Auftretende Partikel zwischen den Gleitflächen, z.B. durch herausgebrochene Faserstücke
- Materialart des Gegenpartners sowie dessen Oberflächenhärte und –beschaffenheit

Weiterhin sind für die Leistungsfähigkeit des Bauteils noch folgende Punkte entscheidend:

- Materialqualität (Herstellung, Verwendung von geeigneten und abgestimmten Rohstoffen)
- Bauteilqualität (werkstoffgerechte Verarbeitung, abgestimmte Maschine und Werkzeug)
- Bauteilkonstruktion und –auslegung (u.a. Wanddicken, Orientierung von Verstärkungsfasern)

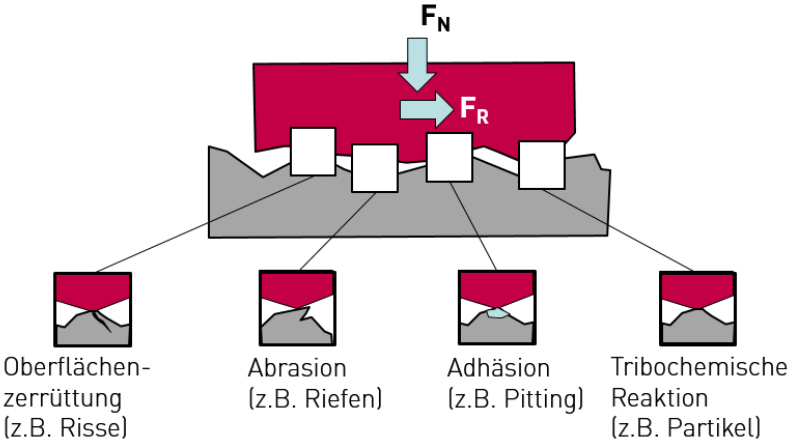
Die Qualität und der Einsatz von abgestimmten Rohstoffen beeinflussen die tribologischen Eigenschaften von Compounds deutlich

Das Pflichtenheft hat großen Anteil an der Auswahl des Polymers und der notwendigen Additive. Dabei sind Viskosität (Fließfähigkeit und Beständigkeit), Temperaturbeständigkeit und chemische Beständigkeit des Basispolymers wichtig. Für die Auswahl des Werkstoffes sind auch Erfahrungen mit der geplanten Anwendung sehr hilfreich. Dies kann den Prozess der Auslegung des Systems deutlich vereinfachen und schneller zum Erfolg führen.

Verschleißursachen und deren Auswirkung

Die bei den Werkstoffpaarungen (Polymer/Metall, Polymer/Polymer) in den Grenzschichten ablaufenden Prozesse entziehen sich einer messtechnischen Erfassung. Die aufzuwendende Reibkraft F_R setzt sich aus einer Adhäsions-, einer Deformationskomponente und bei entsprechend harten und rauen Gegenlaufflächen einer Zerspanungskomponente zusammen. Für die Gleitreibung ergeben sich

also die Adhäsion der Grenzflächenschichten, die Deformation der Mikrokontaktstellen sowie Verschleiß in Folge von Zerspanung als Haupteinflussfaktoren.



Adhäsionsphänomene

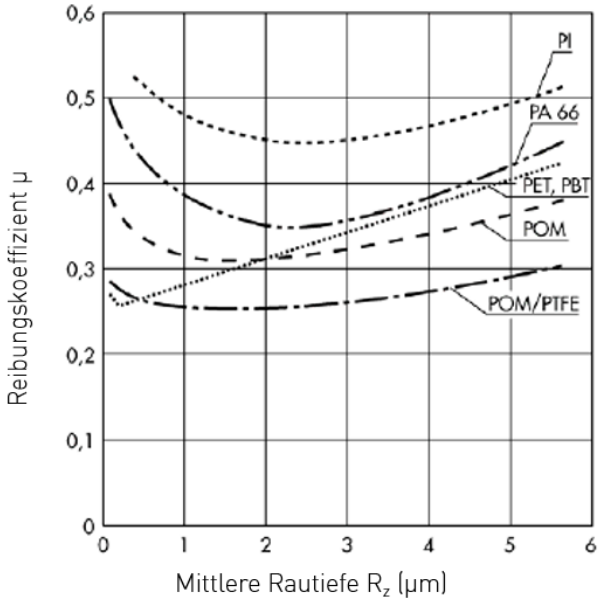
Werden zwei Festkörper mit planen Oberflächen aufeinander gelegt, so berühren sich zunächst nur die Spitzen der höchsten Rauheitserhebungen. Mit zunehmender Normalkraft F_N wächst die Anzahl und die Abmessung der Kontakte infolge elastischer oder elastisch-plastischer Deformation, die spezifische Pressung nimmt ab. In den Bereichen der realen Kontaktflächen nähern sich die Oberflächen soweit, dass atomare bzw. molekulare Wechselwirkungen auftreten (Van-der-Waals-Kräfte).

! Bei der Gleitpaarung Polymer/Polymer kann es zusätzlich zu physikalischen Adhäsionskräften auch zu elektrostatischer Aufladungen kommen. Besonders kann dieser Effekt bei Kombination desselben Polymers auftreten. Daher sollten in Polymer/Polymer-Paarungen verschiedene Kunststoffe gegeneinander arbeiten.

Deformationsphänomene und Zerspanungserscheinungen, Reibungskoeffizient

Bei der Paarung Metall/Polymer wird zum einen der vergleichsweise weiche Polymerwerkstoff je nach Höhe des Flächendruckes elastisch deformiert. Zum anderen können metallische Rauheitsspitzen in die Polymeroberfläche eindringen. Bei Bewegung der Werkstoffpartner relativ zueinander, wird zum einen durch die eingeleitete Verformungsenergie ein deformationsbedingter Reibungsverlust auftreten. Zum anderen wird je nach Höhe der eingedrungenen Rauheitsspitzen ein Abrasionsverschleiß entstehen. Hinzu kommen die Hysterese-Verluste, die durch Deformationsvorgänge beim Trennen von Adhäsivkontakten entstehen. Im Adhäsionsbereich wird der Gleitvorgang als eine schnelle Folge von adhäsivem Haften, Verspannen, Trennen und Zurückstellen von untereinander gekoppelten Molekülbereichen verstanden. Wird die Bindungsenergie des Polymers an bestimmten Stellen überschritten, so kommt es zum Bruch und damit zum molekularen Abbau des Polymers. Dieser Kettenabbau wird durch Reibungswärme und Umwelteinflüsse (Medien, Fremdkörper etc.) noch weiter beschleunigt.

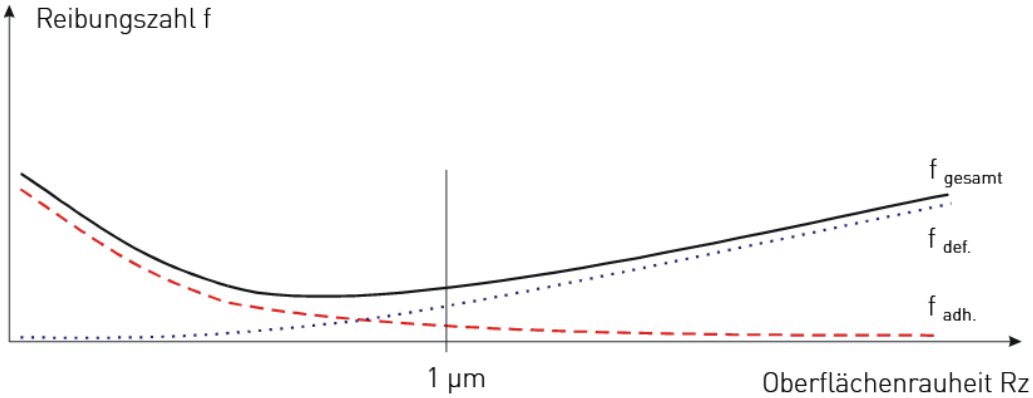
Es gibt Polymere, bei denen unter der Relativbewegung der Gleitpartner nur einzelne Molekülsegmente aus dem Werkstoff herausgezogen werden, vor allem wenn sich in Gleitrichtung eine starke Molekülorientierung einstellt. Hier kommt es also nur zum Kettenabgleiten und nicht zum Kettenbruch. Zerspanungserscheinungen bei der Paarung Polymer/Metall auf der Polymeroberfläche treten vor allem auf, wenn die Rauigkeit der Metalloberfläche zu groß ist. Als allgemeine Empfehlung gilt hier für die mittlere Rautiefe R_Z ein maximaler Wert von 3 µm. Außerdem kann der abrasive Verschleiß vermindert werden, wenn die Rauhigkeitsriefen -z.B. durch Schleifen der Oberfläche- in Bewegungsrichtung orientiert sind.



Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten μ von der mittleren Rautiefe Rz für verschiedene Polymere / Compounds. Allgemeine Empfehlung für Rauhtiefenbereich: R_z zwischen 1 und 3 μm. Quelle: VDI 2541

Zusammengefasst ist festzuhalten, dass beim Gleitvorgang in die Polymerwerkstoff-Oberfläche Energie eingeleitet wird und es zur Rissbildung und Bruch der Polymerketten kommen kann. Eine harte Rauheitsspitze wird außerdem abrasiven Verschleiß entstehen lassen (Mikrozerspanung). Die Reibungszahl setzt sich ebenfalls aus einer Deformations- und Adhäsions/Abrasionskomponente zusammen. Wie beschrieben, ist auch dieser Wert systemabhängig. Je nach System und Zielsetzung ergeben sich unterschiedliche Empfehlungen für Material und Gegenlaufpartnerbeschaffenheit.

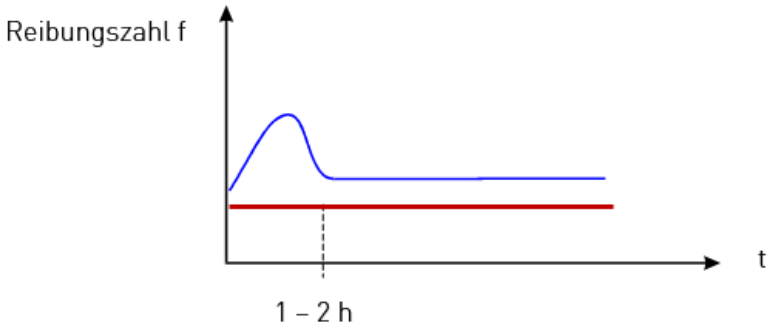
! Eine allgemeine Empfehlung für die Rautiefe Rz ist der Bereich zwischen 1 und 3 μm. Damit kann im Normalfall das Verschleißniveau niedrig gehalten werden.



Die systemabhängige Reibungszahl ergibt sich aus einer Deformations- und einer Adhäsionskomponente

Bei der Reibungszahlermittlung wird in der Einlaufphase der Reibwert zunächst ansteigen und nach einer gewissen Glättung der Partner wieder abfallen und dann über die Zeit bei sonst sich nicht ändernden Einflussgrößen relativ konstant bleiben (blaue Linie im nächsten Diagramm). Diese Forderung besteht auch bei bestimmten Anwendungen in der Praxis. So kann z.B. bei Anlaufscheiben in Kupplungen über die Federkraft das Reibmoment eingestellt werden, diese sollte jedoch über die Lebensdauer auch bei Einfluss von auftretenden Schmutz- und Abriebpartikeln möglichst konstant

sein. Zudem besteht die Anforderung nach einem sehr kurzen oder sogar einer nicht vorhandenen Einlaufphase (rote Linie). Dies lässt sich über die entsprechende Modifizierung von Polymeren umsetzen.

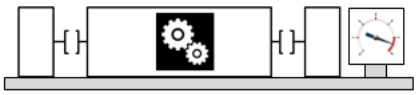
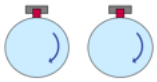
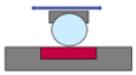


Typischer Verlauf (blau) der Reibungszahl in einem tribologischen System und idealer Verlauf (rot)

Ermittlung von tribologischen Kennwerten

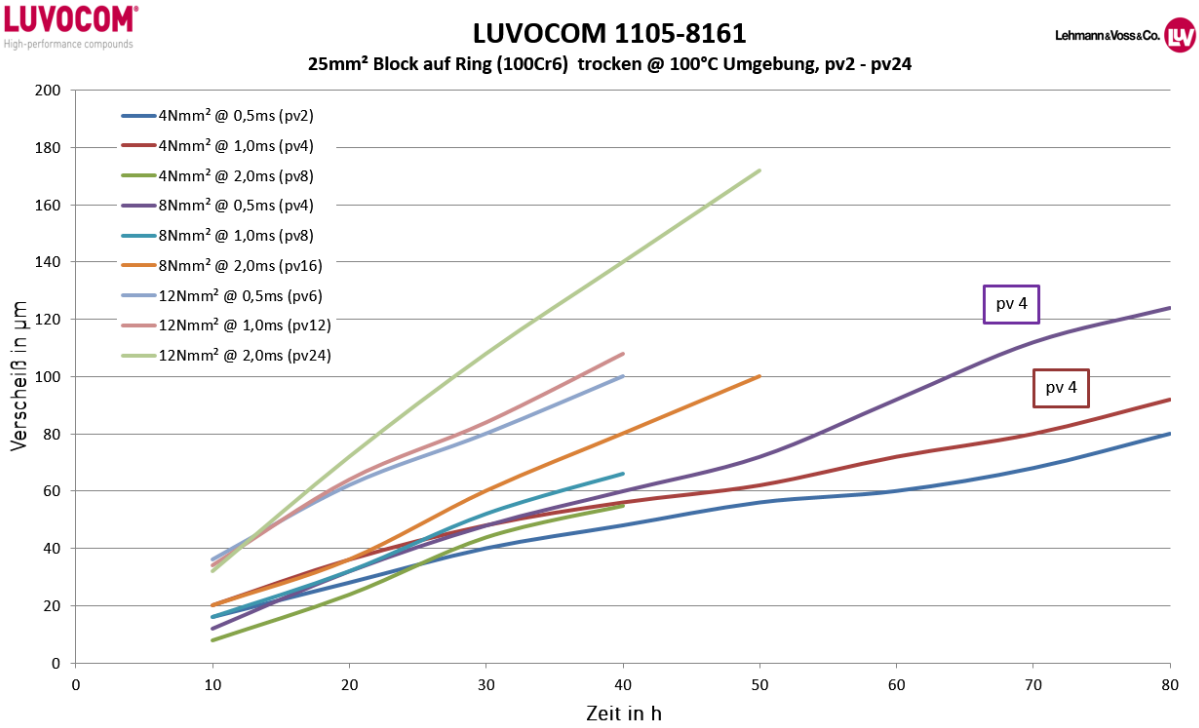
Es liegt im Interesse des Konstrukteurs, für die am Markt angebotenen thermoplastischen Werkstoffe auch Reib- und Verschleißwerte zu erhalten. Tribologische Eigenschaften sind aber keine spezifischen Werkstoffeigenschaften, sondern hängen von dem jeweiligen Tribosystem ab. Der Werkstoffhersteller kommt nicht umhin, tribologische Richtwerte anzugeben. Hierbei müssen aber die Prüfparameter genau mitgeteilt werden und es kann sich nur um einen Vergleich verschiedener Werkstoffe bzw. Werkstoff-Modifikationen bei gleichen Prüfbedingungen handeln. Basierend auf unserer langjährigen Erfahrungen und umfangreich ermittelten Prüfergebnissen ist die Empfehlung von geeigneten Compounds für die jeweilige Anwendung möglich.

Über entsprechende Prüfaufbauten ist eine Annäherung an die reale Baugruppe in der Anwendung möglich, aber eine endgültige Prüfung und Freigabe kann nur über Prüfstandversuche im tatsächlichen System und Feldversuche erfolgen.

Kategorie	Versuchsart	Aufbau	
1	Betriebsversuch		Betriebsähnliche - / Betriebsversuche
2	Prüfstandsversuch mit Serienanlage		
3	Prüfstandsversuch mit Aggregat oder Baugruppe		
4	Versuch mit realem Bauteil oder verkleinertem Aggregat		Vorversuche / Vorauswahl
5	Beanspruchungsähnlicher Versuch mit Probekörpern		
6	Modellversuch mit einfachen Probekörpern		

Je nach Aufbau des Prüfstandes wird der Bewegungsablauf unterschiedlich sein. Der Prüfling kann unter anderem kontinuierlich in eine Richtung gedreht (z.B. Block auf Scheibe-Tribometer) oder oszillierend beaufschlagt werden (z.B. SRV-Tribometer). Es werden sich jeweils verschiedene Reib- und spezifische Verschleißwerte einstellen. Für die Praxis ist es hilfreich, die erhaltenen Vergleichswerte zur Vorauswahl eines Werkstoffes heranzuziehen.

Eine sehr hilfreiche Orientierung für den Konstrukteur bietet der pv–Wert. Dabei steht p für den Druck und v für die Geschwindigkeit. Zusätzlich zum effektiven pv-Wert sollten auch der dazugehörige Druck und die Prüfgeschwindigkeit benannt sein. Das Verschleißverhalten eines Materials kann bei gleichem pv-Wert, aber unterschiedlichen Parametern, unterschiedlich ausfallen. Ein Beispiel findet sich im nachfolgenden Diagramm. Die pv-Werte 4 ergeben sich in einem Fall aus einem Druck von 4 N/mm² und einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s und in dem anderen Fall aus 8 N/mm² und 0,5 m/s.

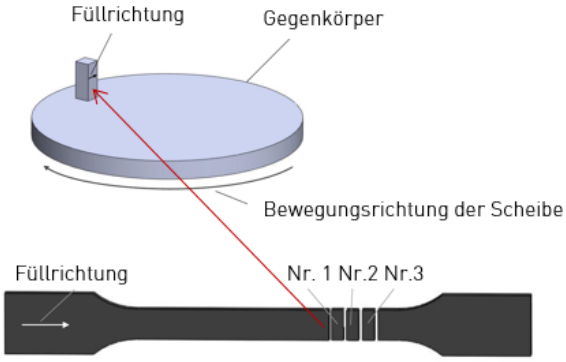


Vergleich des Verschleißverhaltens eines tribologisch modifiziertes PEEK-Compounds bei unterschiedlichen Drücken und Geschwindigkeiten. Prüfung: Block auf Ring, Gegenlaufpartner 100Cr6, trocken, 100°C Umgebungstemperatur

Weiterhin üblich ist die Angabe des sogenannten K-Wertes für den Verschleiß. Dieser steht in einem bestimmten Verhältnis zum zurückgelegten Gleitweg, sowie der Normalkraft. Der Verschleißfaktor K wird wie folgt errechnet:

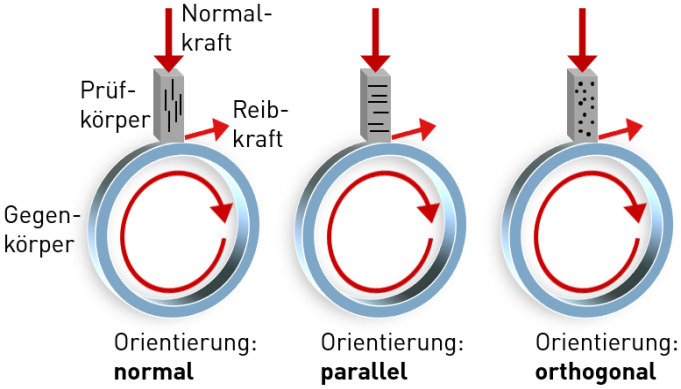
$$K = \frac{\text{gemessener Verschleiß W (mm}^3\text{)}}{\text{Normalkraft (N) x Gleitweg (m)}}$$

Die zu prüfenden Proben erhält man entweder aus gespritzten Zugstäben, gespritzten, extrudierten oder gepressten Platten/Halbzeugen oder speziell gespritzten Prüfkörpern (z.B. für Kugel-Prisma-Prüfung).

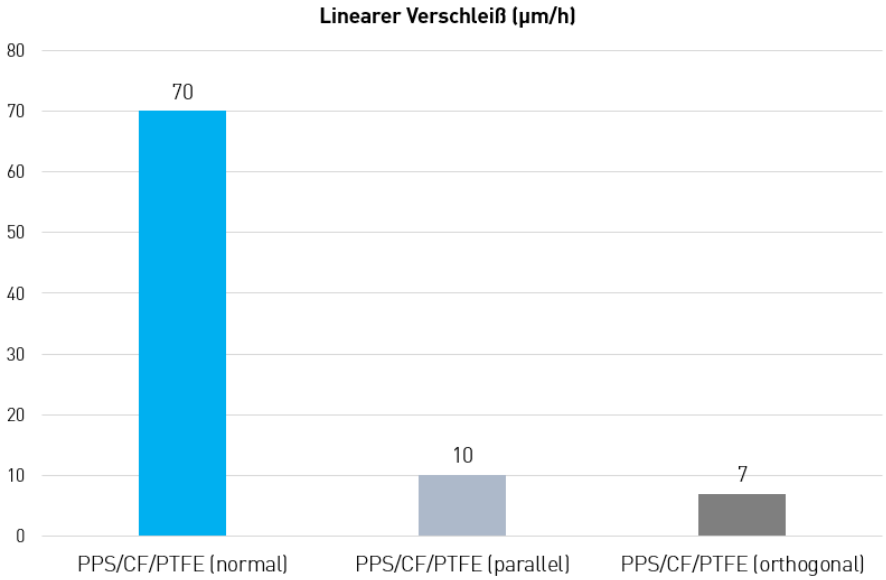


Prüfkörpergewinnung für Stift auf Scheibe-Tribometer

Bei Vergleichsuntersuchungen muss darauf geachtet werden, dass typischerweise die Orientierung von Füllstoffen und Fasern gleich ist. Bei Fertigteilen ist gegenüber den Prüfkörpern eine andere Faser- und Füllstofforientierung vorhanden, ebenso können Additive sich orientieren und das Polymer kann partiell bei der Verarbeitung geschädigt worden sein.



Die Ausrichtung von Fasern und anderen Additiven hat entscheidenden Einfluß auf das tribologische Verhalten eines Compounds und des Gegenlaufpartners



Einfluß der Faserausrichtung auf das Verschleißverhalten am Beispiel eines PPS/CF/PTFE-Compounds

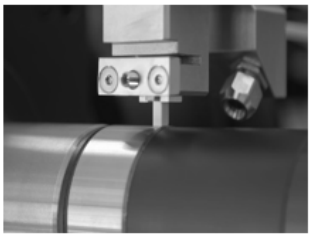
Praxisgerechte tribologische Untersuchungen in der konkreten Anwendung sind in der Regel unerlässlich. Bei einer Neukonstruktion ist folgende Problematik zu beachten:

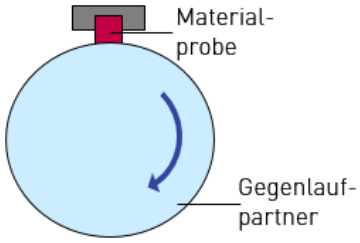
! Wird das Muster aus einem Halbzeug mechanisch hergestellt und soll es später im Serieneinsatz spritzgegossen oder durch Formpressen hergestellt werden, so werden die Ergebnisse der tribologischen Untersuchungen nicht identisch sein. Es ist in diesem Fall anzuraten, für das zu prüfende Bauteil eine Versuchsform zu erstellen und diese sollte in etwa die gleichen Anspritzbedingungen wie die später geplante Serienform aufweisen.

Unsere Prüfmethoden

Für die Entwicklung und Prüfung unserer Hochleistungs-Compounds setzen wir die nachfolgend beschriebenen tribologischen Prüfmethoden ein. Passend zur Anwendung können verschiedene Parameter, wie Geschwindigkeit, Druck, Art der Bewegung, Zeit, Temperatur eingestellt und, soweit möglich, der entsprechende Gegenlaufpartner verwendet werden.

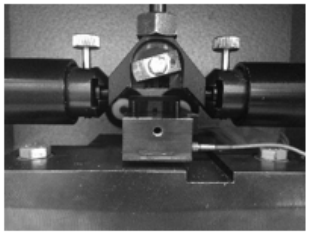
Block auf Ring Tribometer

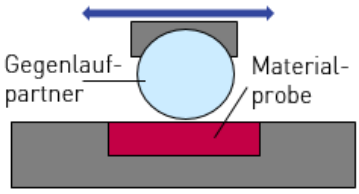




Parameter	
Art der Bewegung	Lineares Gleiten
Geschwindigkeitsbereich	0,01 - 4,0 m/s
Druckbereich	0,05 – 200 MPa
Temperaturbereich	23 – 300 °C
Prüfung in Medien	Ja
Material Gegenlaufpartner	Verschiedene

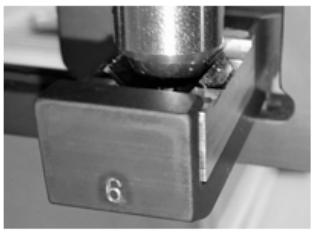
SRV-Tribometer

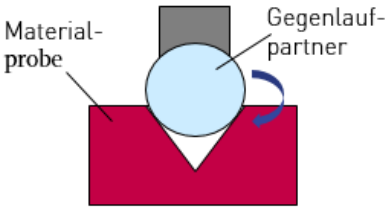




Parameter	
Art der Bewegung	Hochfrequente lineare Oszillation
Geschwindigkeitsbereich	0,04 - 2,5 m/s
Kraftbereich	20 – 1200 N
Temperaturbereich	21 – 190°C
Prüfung in Medien	Nein
Material Gegenlaufpartner	100Cr6, X5CrNiMo AlCu4MgSi

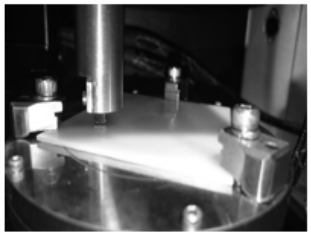
Kugel-Prisma-Tribometer

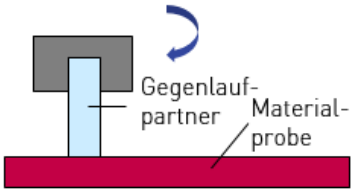




Parameter	
Art der Bewegung	Rotierend
Geschwindigkeitsbereich	0,028 m/s
Kraftbereich	30 N
Temperaturbereich	23°C
Prüfung in Medien	Ja
Material Gegenlaufpartner	Verschiedene

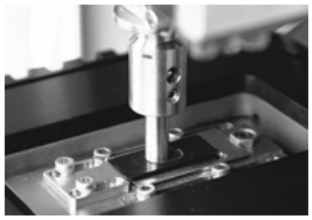
Stift auf Scheibe-Tribometer

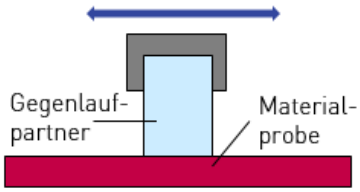




Parameter	
Art der Bewegung	Rotierend
Geschwindigkeitsbereich	0,1 – 5000 U/min
Kraftbereich	0,05 – 1000 N
Temperaturbereich	- 20 – 350°C
Prüfung in Medien	Ja
Material Gegenlaufpartner	Verschiedene

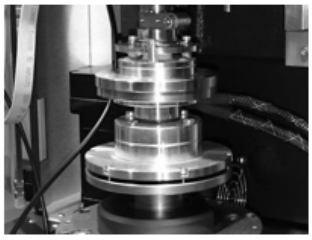
Stift auf Platte-Tribometer

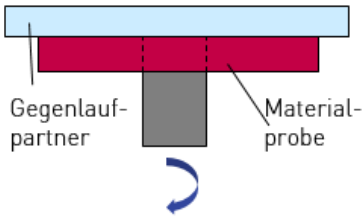




Parameter	
Art der Bewegung	Oszillierend 0,75 – 25 mm Hub
Geschwindigkeitsbereich	0,1 – 60 Hz
Kraftbereich	0,05 – 1000 N
Temperaturbereich	-20 – 200°C
Prüfung in Medien	Nein
Material Gegenlaufpartner	Verschiedene

Thrust-Washer-(Druckscheiben) Tribometer

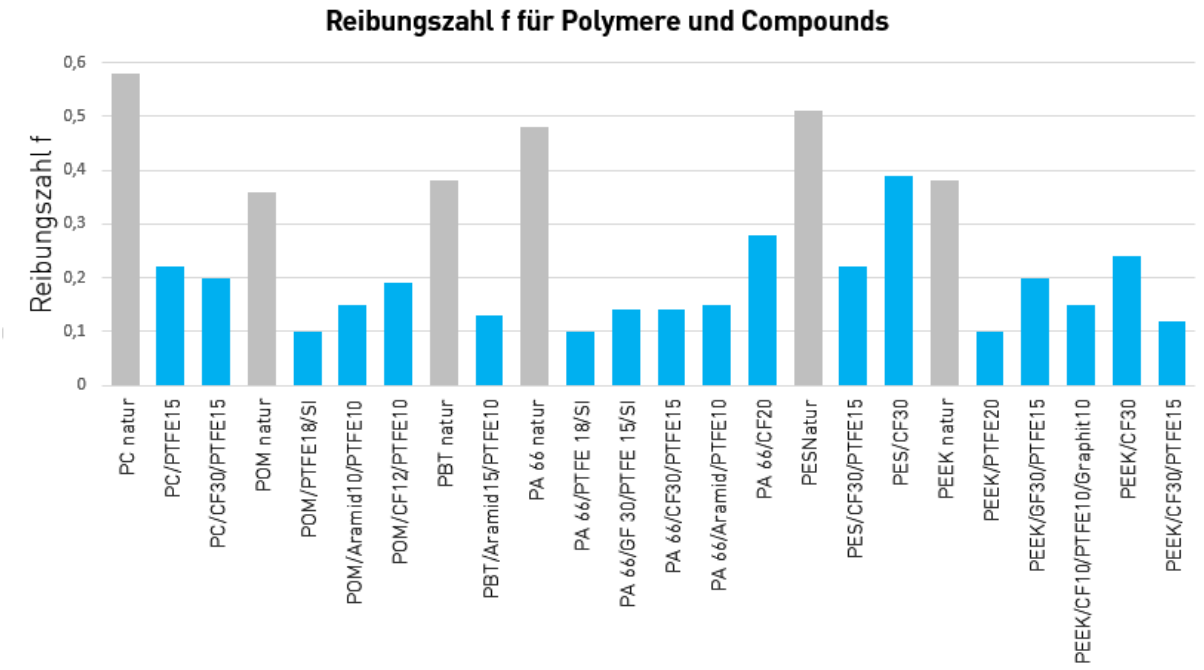




Parameter	
Art der Bewegung	Rotierend
Geschwindigkeitsbereich	0,01 – 15 m/s
Kraftbereich	0,05 – 1000 N
Temperaturbereich	- 40 – 150°C
Prüfung in Medien	Ja
Material Gegenlaufpartner	Verschiedene

Verbesserung der tribologischen Materialeigenschaften

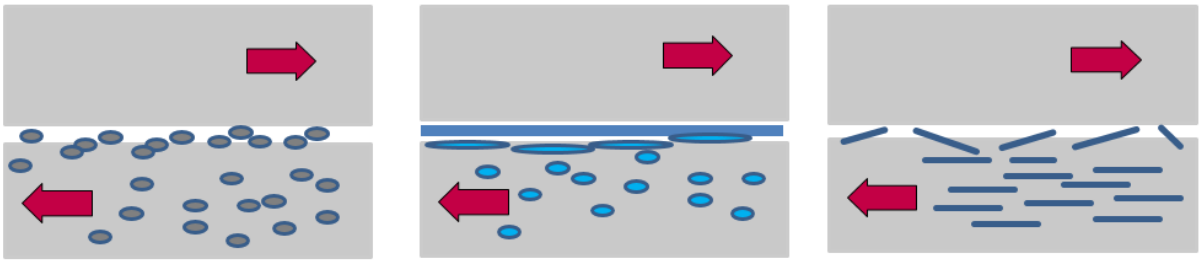
Jedes Polymer hat bestimmte inhärente tribologische Eigenschaften, die sich grundsätzlich bei amorphen und teilkristallinen Polymeren unterscheiden. Dabei gibt es wiederum, je nach tribologischem System, Polymere die sich besser oder schlechter für eine bestimmte Anwendung eignen. Die Zugabe von Fasern, Gleitmitteln und Additiven verbessert die Eigenschaften der Polymere. Nachfolgendes Diagramm zeigt Reibungszahlen gegen Stahl, die bei Raumtemperatur ermittelt worden sind. Es ist deutlich zu erkennen, wie gegenüber den Grundpolymeren durch eine integrierte Schmierung die Reibwerte gesenkt werden.



Vergleich von Reibungszahlen von reinen Polymeren (grau) zu tribologisch modifizierten Polymeren (blau). Gemessen bei Raumtemperatur, Gleitpartner Stahl 100Cr6, UTI-RV-Gerät (oszillierend)

Beispielhaft nachfolgend der Einfluss von Zuschlagstoffen auf die Compoundeigenschaften:

- Verstärkungsstoffe (z.B. Carbon- und Glasfasern) → Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (z.B. Festigkeit)
- Gleitmittel (z.B. PTFE, Silikonöl) → Erhöhung der Verschleißfestigkeit, Reduzierung des Reibwertes
- Feinteilige Additive (z.B. MoS_2, Pigmente) → Erhöhung der Verschleißfestigkeit durch Nukleierung
- Mineralien (z.B. Bornitrid) → Erhöhung der Wärmeleitung



Partikel
z.B.
- Graphit,
- Molybdändisulfid (MoS_2)

Schmierfilm
z.B.
- PTFE
- Silkonöl
- UHMW-PE
- Propf-Copolymere

Verstärkungsstoffe
z.B.
- Carbonfasern
- Aramidfasern
- Glasfasern

Wirkungsweisen von Füll- und Verstärkungsstoffen

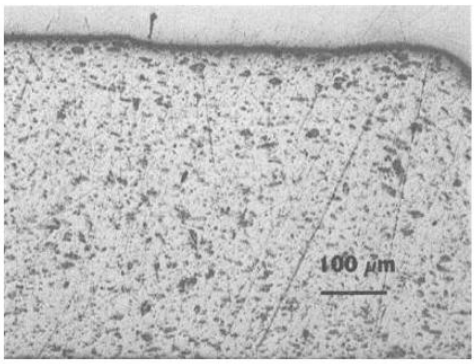
Die wichtigsten tribologisch wirksamen Zusätze für Polymere

a) Gleitmittel

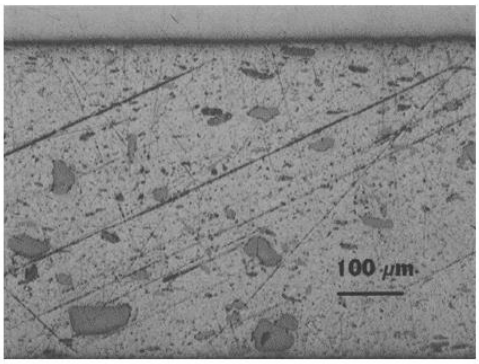
Polytetrafluorethylen (PTFE)

- Teilkristallines, thermoelastisches Polymer
- Chemisch sehr beständig
- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Bildet einen Schmierfilm zwischen den Gleitpartnern und verringert so Reib- und Verschleißwerte
- Große Auswahl an verschiedenen PTFE-Sorten für optimale Werkstoffkombination

PTFE, als tribologisch hochwirksames Additiv, wird in Pulverform in thermoplastische Compounds eingearbeitet. Bei PTFE kommt es unter Reibungsbelastung zu einem Abgleiten der Polymerketten und es entsteht ein Schmierfilm zwischen den Gleitpartnern. Der Reibwert sinkt dadurch drastisch und auch Ermüdungserscheinungen des Polymers in der Grenzschicht sind reduzierbar, es entsteht weniger Verschleiß. Durch den PTFE-Film werden Haft- und Gleitreibung angeglichen und damit wird das sogenannte Ruckgleiten (Stick-Slip) meist verhindert. Es gibt eine große Auswahl unterschiedlicher PTFE-Pulver mit bestimmten Eigenschaften.



Schnitt
PA 46 mit PTFE fein verteilt



Schnitt
PA 46 mit PTFE grob verteilt

Schnittaufnahmen von PA 46 mit unterschiedlichen PTFE-Verteilungen

Die Auswahl der geeigneten Sorte erfolgt passend zum Polymer und gemäß Anforderungskatalog der entsprechenden tribologischen Anwendung. Ein Beispiel für eine solche Entwicklung ist unsere Produktreihe LUVOCOM® XTF (Seite 27).

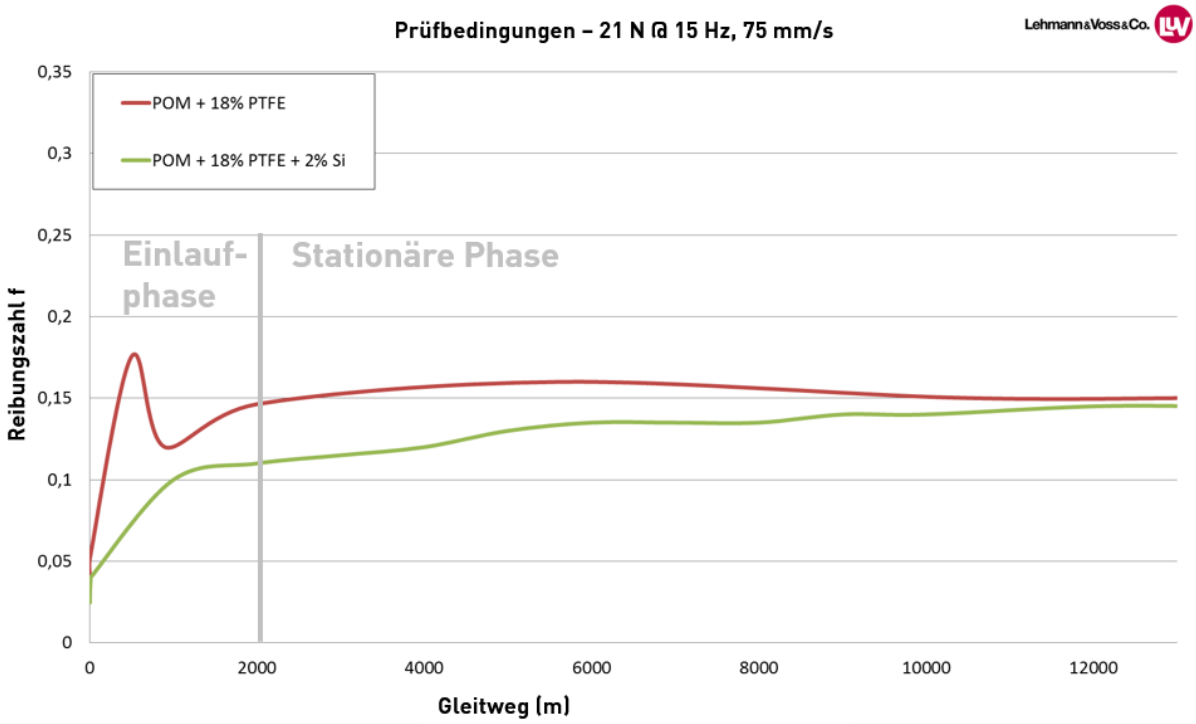
! Nicht möglich ist der Einsatz von PTFE-haltigen Materialien in Produktionslinien der tabakherstellenden Industrie.

Silikonöl (SI)

- Polymerisiertes Siloxan
- Temperaturstabil
- Elektrisch isolierend
- Migriert an die Oberfläche und bildet dort einen kontinuierlichen Schmierfilm
- Dosierung ca. 0,5 bis 2 Gew%
- Kombinationen von PTFE und Silikonöl für ein besseres und schnelleres Einlaufverhalten, Reduzierung Stick-Slip und bei höheren Lagergeschwindigkeiten

Hochviskose Silikonöle haben oft nur eine begrenzte Verträglichkeit mit der Polymermatrix und migrieren deshalb langsam an die Oberfläche. Dieses Ausschwitzen bildet dort einen kontinuierlichen Schmierfilm. Um die Mechanik des Polymerwerkstoffes nicht wesentlich zu verringern und um Delamination bei der Herstellung der Teile zu vermeiden, ist eine Zugabe von 0,5 bis 2 % üblich. Bewährt hat sich die Kombination PTFE-Silikonöl vor allem bei höheren Lagergeschwindigkeiten und zur Reduzierung von Stick-Slip. Weiterhin sorgt diese Kombination für ein optimiertes Einlaufen der Reibpartner.

! Für Elektro – und Elektronikanwendungen kann der Einsatz von silikonölhaltigen Werkstoffen kritisch sein und sollte geprüft werden. Dies gilt ebenso für Produkte bei denen eine Lackierung vorgesehen ist. Hier ist die Verwendung spezieller Silikonöle möglich.



Reibungszahl - Typische Einlauf- und stationäre Phase für zwei tribologische Compounds auf Basis POM, modifiziert mit PTFE bzw. PTFE und Silikonöl

Graphit (GR)

- Organisches, graues bis schwarzes Mineral
- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Elektrisch und thermisch leitfähig
- Gute Schmiereigenschaften, besonders in Kontakt mit Wasser
- Verbesserung der Schwindungsisotropie von Compounds
- Erhöhung der Druckfestigkeit von Compounds

Graphit besteht aus Kohlenstoff und ist ein kristallines und relativ weiches Mineral. Die Kristallstrukturen sind schichtweise aufgebaut. Diese Schichten gleiten leicht gegeneinander ab. In Kombination mit Feuchtigkeit ergeben sich dadurch gute schmierende Eigenschaften. In Compounds wird es als temperaturbeständiges und tribologisches Additiv eingesetzt und kann zudem zur Verbesserung der Schwindungsisotropie und zur Erhöhung der Druckfestigkeit des Werkstoffes beitragen. Tribologische Vorteile zeigen Compounds mit Graphit vor allem dann, wenn die Bauteile im Wasser arbeiten oder mit Wasser in Berührung kommen. Graphite erhöhen auch die Wärmeleitfähigkeit von Compounds. Dies hilft bei der Abfuhr von Reibwärme und reduziert damit die thermische Belastung der Reibpartner.

Molybdändisulfid (MoS_2)

- Grauschwarzes, kristallines Mineral
- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Niedrigere Reibwerte im Trockenlauf
- Wirkt in teilkristallinen Thermoplasten als Nukleierungsmittel

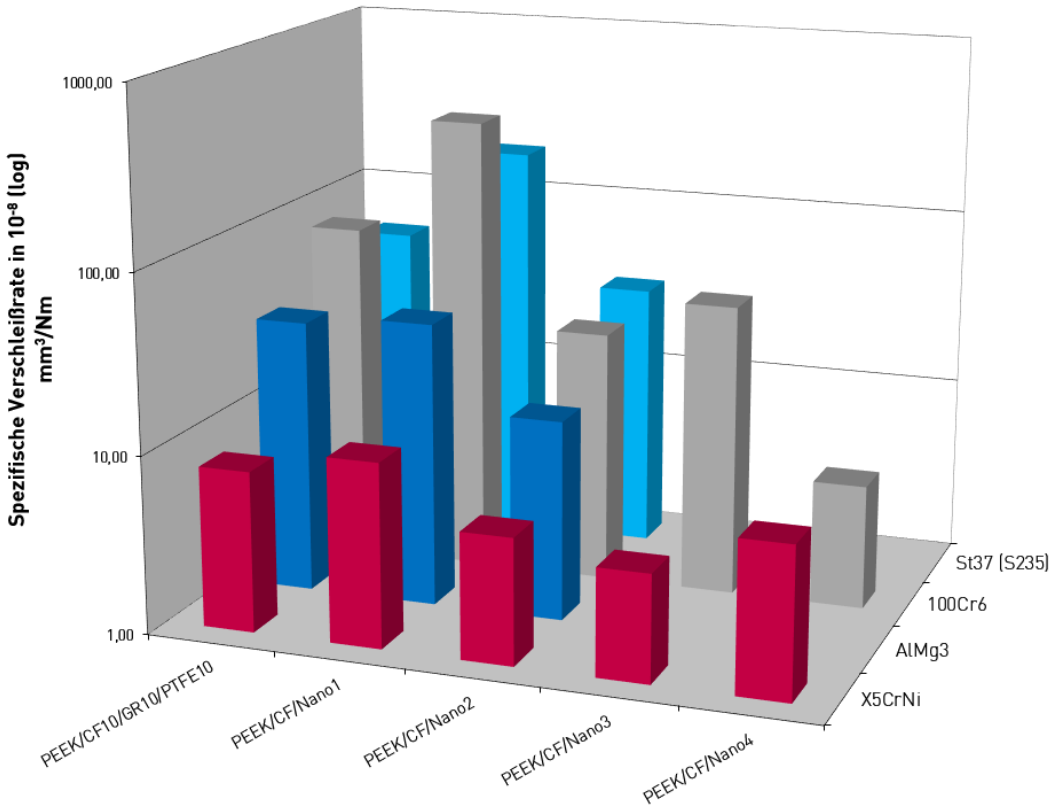
Ähnlich wie Graphit ist MoS_2 in Schichten aufgebaut, die sich leicht gegeneinander verschieben lassen. Dies erklärt den schmierenden Effekt. In Compounds kann MoS_2 bei Trockenlauf die Reibungwerte etwas senken. Ein weiterer Vorteil, mit größerem Effekt, besteht darin, dass MoS_2 in teilkristallinen Thermoplasten als Nukleierungsmittel dient und die feinkristalline Ausbildung bis in die Randzonen verbessert. Feinkristalline Bereiche zeigen höhere Verschleißfestigkeiten als amorphe oder weniger kristalline Bereiche.

Nano-Additive

- Sehr feinteilige Additive im Nanobereich (10^{-9} m) auf mineralischer und organischer Basis
- Kombination verschiedener Additive möglich
- Verschleißfestigkeit von Compounds wird deutlich gesteigert
- Geringe Reibungskoeffizienten erzielbar
- Einlaufverhalten kann deutlich optimiert werden

Nanotechnologie wird in der Kunststofftechnik bereits seit längerer Zeit eingesetzt. Für tribologische Compounds verwendet LEHVOSS bereits seit dem Jahr 2000 Nanoadditive. Durch entsprechende Verarbeitung kann eine gute Dispergierung im Compound sichergestellt werden. Im Bauteil sind dadurch die wirksamen Partikel auch in der Oberfläche, was gerade bei tribologischen Anwendungen sehr wichtig ist. Hiermit lassen sich besonders geringe Verschleißraten, konstante Reibwerte, hohe pv-Werte und ein gutes Einlaufverhalten realisieren. Durch Kombination von verschiedenen Nanoadditiven und Verstärkungsfasern (meist CF) ergeben sich sehr weitreichende Möglichkeiten für maßgeschneiderte Compounds. Im nachfolgenden Diagramm wird dies verdeutlicht. PEEK/CF mit

verschiedenen Nanoadditivierungen wurde im Trockenlauf gegenüber verschiedenen Gegenlaufpartnern geprüft. Im Vergleich zu der klassischen Additivierung von PEEK mit CF, Graphit und PTFE, ist eine Reduzierung des Verschleißes in vielen Materialpaarungen erreicht worden.



Verschleiß von tribologisch modifiziertem PEEK-CF-Nano-Compounds im Vergleich zu PEEK mit CF, Gaphit und PTFE. Prüfung mit verschiedenen Gegenlaufpartnern

! Nanofüllstoffe können auch eine Lösung sein, wenn eine PTFE-Modifikation nicht in Frage kommt. Beispielsweise beim Einsatz in Flüssigkeiten, die PTFE aus dem Werkstoffverbund herausspülen, oder wenn PTFE die mechanischen Eigenschaften des Compounds zu stark reduziert.

Externe Schmierung

Grundsätzlich gibt es die Möglichkeit, bei Tribosystemen mit Kunststoffgleitpartnern eine traditionelle Schmierung einzusetzen. Dies kann das Aufbringen von Ölen oder Fetten sein, die Gleitpartner können in Öl-Lösungsflüssigkeits-Gemische getaucht werden, poröse Polymerwerkstoffe können Öle aufsaugen oder es wird auf die Gleitpartner Gleitlacke aufgebracht.

Für Kunststoffe gibt es spezielle Öle und Fette, die den Polymerwerkstoff chemisch nicht angreifen und auch bei amorphen Kunststoffen keine Spannungsrisse erzeugen. Besonders bei hohen tribologischen Beanspruchungen kann teilweise auf eine traditionelle Schmierung nicht verzichtet werden. Hier ist dann ein Kunststoff mit Gleitmittelzusätzen nur dann notwendig, wenn im Betrieb Mangelschmierungen möglich sind und Notlaufeigenschaften benötigt werden. Im Gegensatz zu Metallen haben Polymerwerkstoffe kleine Oberflächenenergien, was zu einem starken Breitlaufen der Öle auf den Gleitstellen führt und nach einer gewissen Zeit kann ein Schmierstoffmangel an der Lagerstelle auftreten. Hier kann das Aufbringen eines fluorierten Gleitlackes eine Lösung sein.

! Für Tribosysteme mit Kunststoffen haben sich vor allem Öle und Fette mit einer hohen Grundöl-Viskosität bewährt. Weitere Informationen hierzu sind von den Schmierstoffherstellern erhältlich. In vielen Fällen wird aber wegen der Verschmutzungsneigung eine Öl- oder Fettschmierung nicht gewünscht.

b) Verstärkung

Wichtig ist die Auswahl der richtigen Fasertype und deren optimale Anbindung und Einlagerung im Polymer. Bei der im Reibungszustand durch Deformation gewalkten Polymeroberfläche besteht die Gefahr, dass kleine Bruchstücke von Fasern ausbrechen und zwischen die Gleitpartner geraten. Ein steigender Verschleiß ist dann möglich. In tribologischen Anwendungen müssen faserverstärkten Thermoplasten meist Gleitmittel zugesetzt werden, damit der zulässige Systemverschleiß und die Reibwerte eingehalten werden können.

Für die Bauteilkonstruktion ist allgemein bei Verwendung von faserverstärkten Polymeren, eine optimale Ausrichtung der Fasern zu berücksichtigen, da dies für die mechanischen, aber auch die tribologischen Eigenschaften entscheidend ist (vgl. Seite 12).

Aramidfasern (AF)

- Auf der Basis von aromatischem Polyamid
- Geringes spezifisches Gewicht
- Erhöhung der Compoundfestigkeit (geringer als im Vergleich zu GF und CF)
- Erhöhung der Verschleißfestigkeit des Compounds
- Weniger abrasiv als GF und CF

Aramidfasern verfügen über gute mechanische Eigenschaften bei einem geringen spezifischen Gewicht. Senkrecht zur Faserlängsachse ist deren Festigkeit relativ gering. Die Kopplungsmöglichkeiten dieser Faser an Polymere sind nicht optimal. Bei der Verarbeitung tritt Faserbruch auf, so dass das mechanische Niveau von aramidfaserverstärkten Compounds nicht besonders hoch ist. Die tribologischen Eigenschaften sind jedoch günstig, vor allem in Verbindung mit weichen Partnerwerkstoffen wie zum Beispiel Aluminium oder Bronze.

Glasfasern (GF)

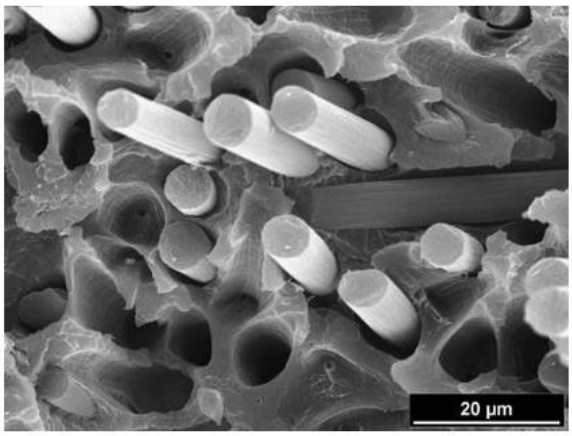
- Amorphe Struktur mit isotropen Eigenschaften
- Hohe Zug- und Druckfestigkeit
- Erhöhung der mechanischen Eigenschaften von Polymeren
- Höhere Compoundfestigkeit unter Wärme
- Erhöhung der Verschleißfestigkeit des Compounds
- Erhöhung der zulässigen pv-Werte

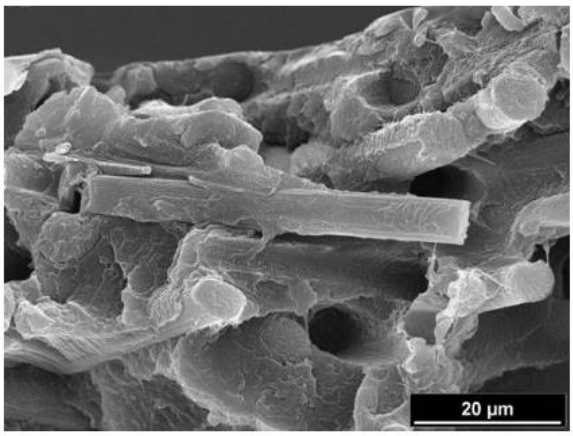
Faserverstärkte Thermoplaste ermöglichen ein höheres mechanisches Festigkeitsniveau, auch unter Wärme, und bieten eine Stützwirkung in der Reibfläche. Die verstärkten Werkstoffe haben ein verbessertes Kriechverhalten, einen niedrigeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten und eine etwas verbesserte thermische Leitfähigkeit. Der Verschleiß kann deutlich reduziert werden. Dadurch ergibt sich eine Erhöhung der zulässigen pv-Werte. Dies ist auch auf die hohe Härte von Glasfasern zurückzuführen. Hier ist aber auf den möglichen größeren Verschleiß des Gegenlaufpartners zu achten.

Dies gilt besonders bei weichen Materialien wie unverstärkten Polymeren und Metallen, wie Aluminium oder Messing.

Carbonfasern (CF)

- Meist auf der Basis von pyrolisiertem Polyacrylnitril (PAN)
- Hohe Festigkeit
- Thermisch- und elektrisch leitfähig
- Geringes spezifisches Gewicht
- Negativer Wärmeausdehnungkoeffizient
- CF-verstärkte Thermoplaste bieten das höchste mechanische Festigkeitsniveau
- CF-Compounds bieten gutes Verschleißverhaltens, erhöhte thermische Leitfähigkeit, höhere pv-Werte, sind leichter als GF-Compounds und sind meist elektrisch leitfähig





Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von PEEK mit CF

Carbonfasern (umgangssprachlich auch Kohlefasern genannt) ermöglichen Compounds mit hohen Festigkeiten, z.B. LUVOCOM® XCF (Seite 29), und sehr guten tribologischen Eigenschaften. Die Compounds besitzen weiterhin geringe Wärmeausdehnung, höhere Wärmeleitung, Dimensionsstabilität, Maßhaltigkeit, elektrische Leitfähigkeit und geringes Gewicht. Im Gegensatz zu GF weisen CF ein besseres Verschleißverhalten auf. Die graphitartige Schichtgitterstruktur an der Oberfläche gleitet definiert ab und es wird weniger Verschleiß verursacht.

Es gibt eine große Anzahl verschiedener CF. Auch hier ist natürlich die Auswahl der geeigneten Typen für ein optimales Tribocompound wichtig. Bezüglich Bauteilauslegung gilt das bei GF Gesagte. Auch bei CF-Compounds ist durch die Zugabe von Gleitmitteln eine Verbesserung der tribologischen Eigenschaften möglich.

c) Verbunde mit Metallen

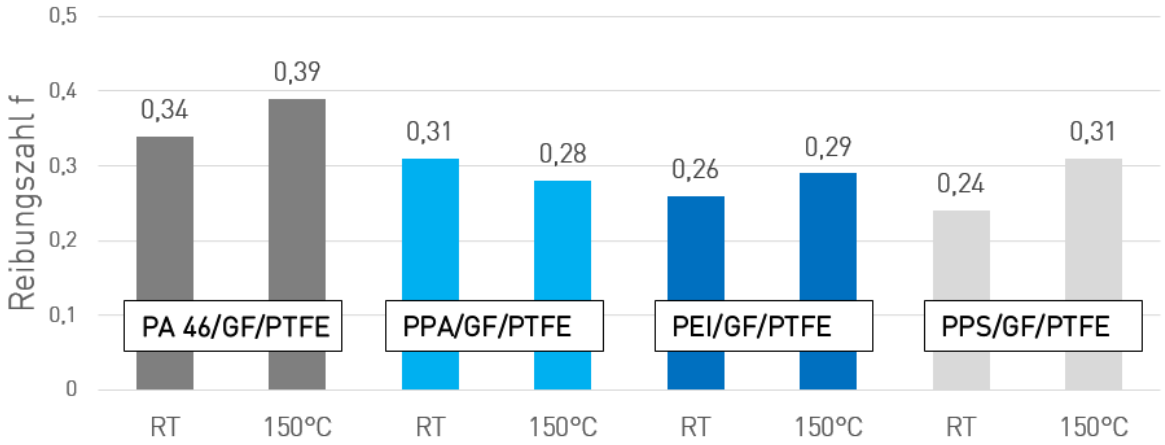
Eine weitere Möglichkeit für den Erhalt von leistungsfähigen Komponenten, ist die Kombination von Kunststoffen mit Metallen. Hierfür werden entweder Metallbleche über Warmpressen mit Kunststoffen beschichtet – z.B. für gerollte Gleitlager - oder Metallteile erhalten über ein elektrostatisches Auftragsverfahren eine Beschichtung.

Die Kunststoffe sind nach den Anforderungen der entsprechenden Anwendung modifiziert und enthalten meist integrierte Gleitmittel und Verstärkungsstoffe. Die Vorteile liegen in der hohen

Festigkeit und der guten Wärmeleitfähigkeit dieser Verbunde, deren zulässige pv-Werte in vielen Fällen über denen von reinen, unmodifizierten Polymer liegen. Mit diesen Lösungen sind sehr feste und widerstandsfähige Bauteile umsetzbar. Auch für diese Systeme bieten wir mit unseren Produktreihen LUVOCOM® und LUVOCOM® P Materiallösungen an.

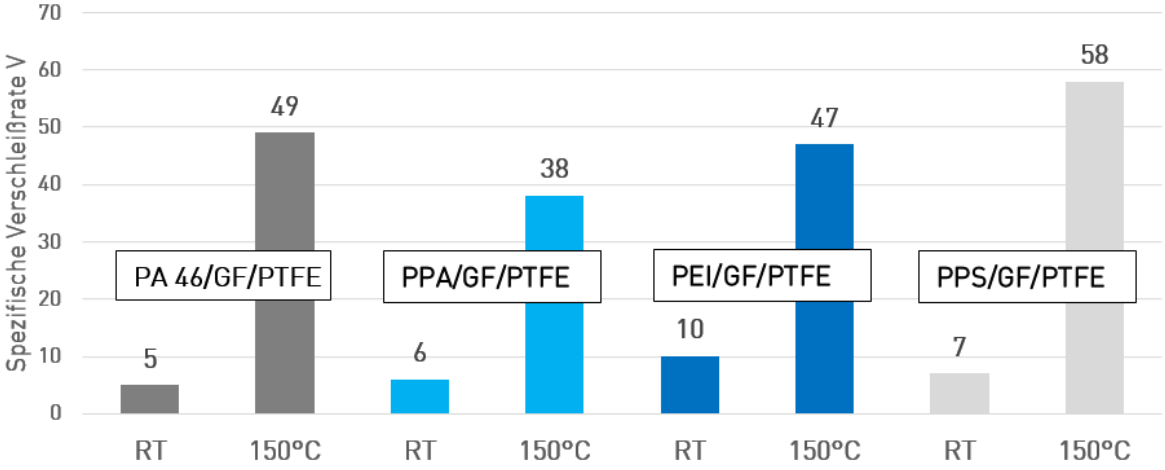
Praxisbezogene Untersuchungen

In der Praxis liegen die Betriebstemperaturen von Bauteilen meist unter- oder oberhalb der Raumtemperatur, die üblicherweise bei Standardprüfungen eingestellt ist. Weiterhin wird in den Gleitflächen die Reibungsenergie noch in Wärme umgesetzt. Deshalb erfolgt die tribologische Werkstoffprüfung auch bei erhöhten Temperaturen. Dies erfolgt in temperierbaren Prüfkammern oder erwärmter Umgebung. Der Einfluss der Temperatur auf die Reibungszahl f ist im nachfolgenden Diagramm ersichtlich. Im Beispiel sind vier verschiedene Thermoplaste aufgeführt, die jeweils mit 30 % Glasfasern und 15 % PTFE modifiziert worden sind. Prüftemperaturen sind Raumtemperatur und 150°C.



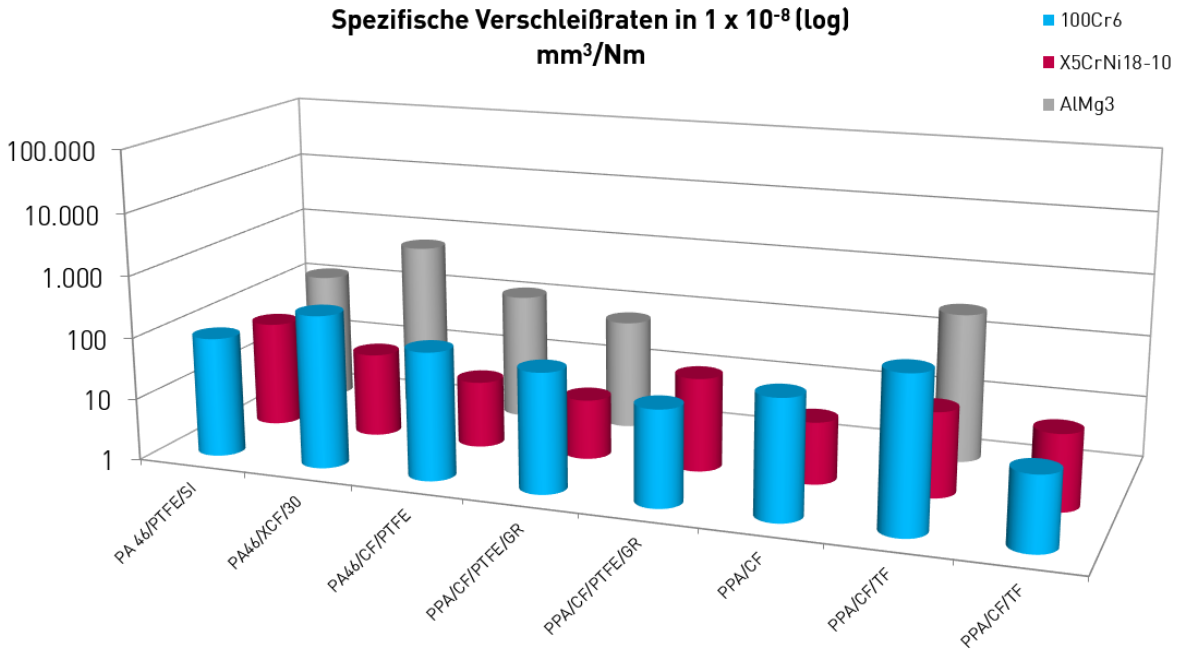
Einfluss der Temperatur auf Reibwerte von tribologischen Compounds. Prüfung bei Raumtemperatur und bei 150°C, Gleitpartner Stahl 100Cr6, Stift-Scheibe-Tribometer, V = 1 m/s, p = 1 MPa, Trockenlauf

Auch auf die spezifische Verschleißrate hat die Temperatur einen wesentlichen Einfluss. Dies ist im nächsten Diagramm ersichtlich.



Einfluss der Temperatur auf die spezifische Verschleißrate V (10^{-7} mm^3/Nm) von tribologischen Compounds. Prüfung bei Raumtemperatur und bei 150°C, Gleitpartner Stahl 100Cr6, Stift-Scheibe-Tribometer, V = 1 m/s, p = 1 MPa, Trockenlauf

Im folgenden Diagramm wird der schon beschriebene Einfluss des Gegenlaufmaterials deutlich. Bei gleichen Prüfbedingungen kommt es aufgrund unterschiedlicher Metalle zu einem unterschiedlichen Verschleißverhalten. Es ist zu beachten, dass der Verschleiß für alle genannten Compounds sehr gering ist. Geprüft wurden Compounds auf Basis PPA und PA46. Gegenlaufpartner sind 100Cr6, X5CrNi18-10 und AlMg3.



Prinzipieller Einfluss des Gegenlaufpartners auf die spezifischen Verschleißraten von tribologischen Compounds. Prüfung bei Raumtemperatur, Kugel Prisma-Tribometer, PA46- und PPA-Compounds

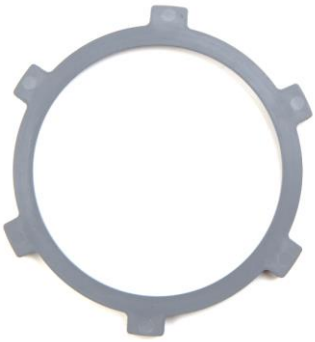
Anwendungsbeispiele

Jede Industrie hat ihre spezifischen Anwendungen und damit auch unterschiedliche Anforderungen. Kunststoffe finden hier Einsatz in einer Vielzahl von tribologischen Anwendungen. Eine komplette Auflistung ist nahezu unmöglich. Im nachfolgenden führen wir einige Beispiele auf und nennen die wichtigsten Anforderungen an typische Bauteile.

Anwendung: Reibsteuerscheibe
Markt: Automobil
Anforderungen:

- Bestimmte Reibwerte
- Kurzes Einlaufverhalten
- Geringer Verschleiß

Material im Beispiel: PEEK mit CF und Nanoadditiven



Anwendung: Gleitlager

Markt: Maschinenbau
Anforderungen:

- Geringe Reibwerte
- Geringer Verschleiß
- Trockenlauf

Materialien im Beispiel: PEEK, PPS, PA66 mit CF und Gleitmitteln

Anwendung: Kugelschale
Markt: Automobil
Anforderungen:

- Gute Kriechfestigkeit
- Geringer Verschleiß
- Chemische Beständigkeit

Material im Beispiel: PBT mit GF und Gleitmitteln

Anwendung: Gleitdichtringe
Markt: Automobil
Anforderungen:

- Reibwert 0,3
- Kurzes Einlaufverhalten
- Geringer Verschleiß

Materialien im Beispiel: PEEK und PPS mit CF und Gleitmitteln

Anwendung: Träger für optische Linsen

Markt: Präzisionsgeräte
Anforderungen:

- Bestimmte Reibwerte
- Kurzes Einlaufverhalten
- Geringer Verschleiß

Material im Beispiel: PC mit CF und Gleitmitteln

Anwendung: Beschichteter Gurtumlenker
Markt: Automobil
Anforderungen:

- Geringstmögliche Reibwerte
- Hohe Verschleißbeständigkeit
- Umweltfreundliche Beschichtung

Materialien im Beispiel: Metall beschichtet mit POM gleitmittelmodifiziert

Anwendung: Stützring für Dichtungen
Markt: Öl- & Gasindustrie
Anforderungen:

- Hohe Festigkeit und gute Zähigkeit
- Hohe Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit
- Gute Spaltextrusionsfestigkeit

Material im Beispiel: PEEK mit CF

LUVOCOM®-Produkt-Highlights

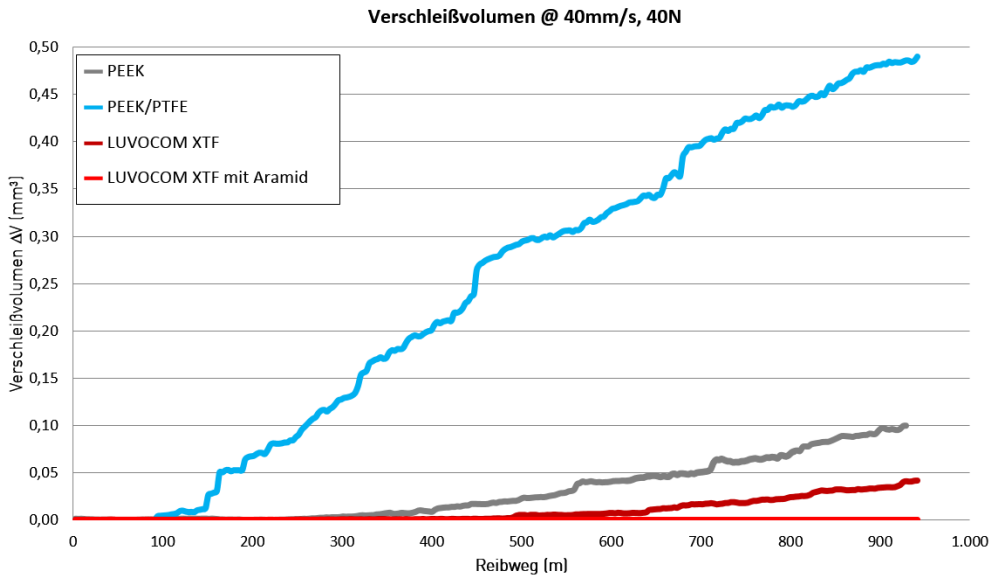
Nachfolgende Tabellen und Informationen beschreiben eine Auswahl spezieller Produktserien und klassischer Modifikationen unserer LUVOCOM®-Hochleistungs-Compounds für tribologische Anwendungen. Die Materialien sind auf verschiedene tribologische Systeme optimiert und bieten spezifische Vorteile. Anwendungsbezogene Materialanpassungen sind jederzeit möglich. Weitere Informationen, auch zu weiteren Produkten und Möglichkeiten aus unserem Haus, sind auf Anfrage gerne erhältlich.

LUVOCOM® - Produktserien			
Produktserie	Haupt-Modifizierung	Was ist optimiert?	Typische Polymere
LUVOCOM® XTF	Spezial-PTFE	Verschleiß	PPS, PEEK
LUVOCOM® 8000-Serie	Nano-Additive	Verschleiß, Reibung	PA, PEEK
LUVOCOM® XSL	Öle	Verschleiß, Reibung	POM, PA
LUVOCOM® P (Beschichtungspulver)	PTFE	Verschleiß, Reibung	POM, PBT
LUVOCOM® EOG	Fasern, Gleitmittelpaket	Verschleiß, Festigkeit und isotrope Eigenschaften	PAEK
LUVOCOM® XCF	Carbonfaser	Festigkeit, Steifigkeit und Zähigkeit	PA, POM, PPA, PPS, PAEK

LUVOCOM® - Klassische Modifikationen			
Haupt-Modifizierung	Erläuterung	Optimierung	Typische Polymere
TF	PTFE	Verschleiß, Reibung	PC, PA, PBT, POM, PAEK
TF/SI	PTFE + SI	Verschleiß, Reibung	PA, PBT, POM
GF/TF	Glasfaser + PTFE	Mechanik, Verschleiß, Reibung	PC, PA, PBT, PPS, PAEK
GF/TF/SI	Glasfaser + PTFE + Silikonöl	Mechanik, Verschleiß, Reibung	PC, PA, PBT
CF/TF	Carbonfaser + PTFE	Mechanik, Verschleiß, Reibung	PA, PPS, PAEK
CF/TF/SI	Carbonfaser + PTFE + Silikonöl	Mechanik, Verschleiß, Reibung	PC, PA, PBT
AF	Aramidfaser	Verschleiß, Festigkeit	PA, POM, PPS, PAEK
AF/TF	Aramidfaser + PTFE	Verschleiß, Festigkeit, Reibung	PA, POM, PPS, PAEK
AF/CF/TF	Aramidfaser + Carbonfaser + PTFE	Verschleiß, Festigkeit, Reibung	PA, PPS, PAEK
CF/10/GR/10/TF/10	Je 10 % Carbonfaser, Graphit, PTFE	Verschleiß, Reibung, Festigkeit	PPS, PAEK

LUVOCOM® XTF

Mit LUVOCOM® XTF bieten wir eine Produktserie, die durch die Verwendung von innovativen Rohstoffen und einer angepassten Verfahrenstechnik, eine Reduzierung des Bauteilverschleißes ermöglicht. Dies gilt besonders bei höheren Drücken und gleichzeitig geringeren Geschwindigkeiten.



Verschleißvolumen von LUVOCOM-XTF-Compounds im Vergleich zu PEEK natur und PEEK mit PTFE. Prüfung: Stift auf Platte (oszillierend) gegen 100Cr6 bei Raumtemperatur

LUVOCOM® 8000-Serie

Durch die Zugabe von nanoskaligen Additiven werden zuvor unerreichbare Eigenschaften erzielt. LUVOCOM®-Compounds dieser Serie zeigen unter anderem verbesserte tribologische Eigenschaften. Dabei wird auf eine Fülle unterschiedlicher Additive zurückgegriffen. Über die Kombination von Thermoplasten, wie PEEK, PPS oder PA 66, mit speziellen Nano-Additiven, ist es möglich tribologisch modifizierte Werkstoffe mit hoher Verschleißfestigkeit, bei gleichzeitig niedrigem Reibungskoeffizienten, zu realisieren. Dabei wird meist auf traditionelle Festschmierstoffe wie zum Beispiel PTFE verzichtet. Die Vorteile: die Werkstoffe lassen sich besser verarbeiten und das fertige Produkt weist bessere Festigkeitswerte auf.

LUVOCOM® XSL

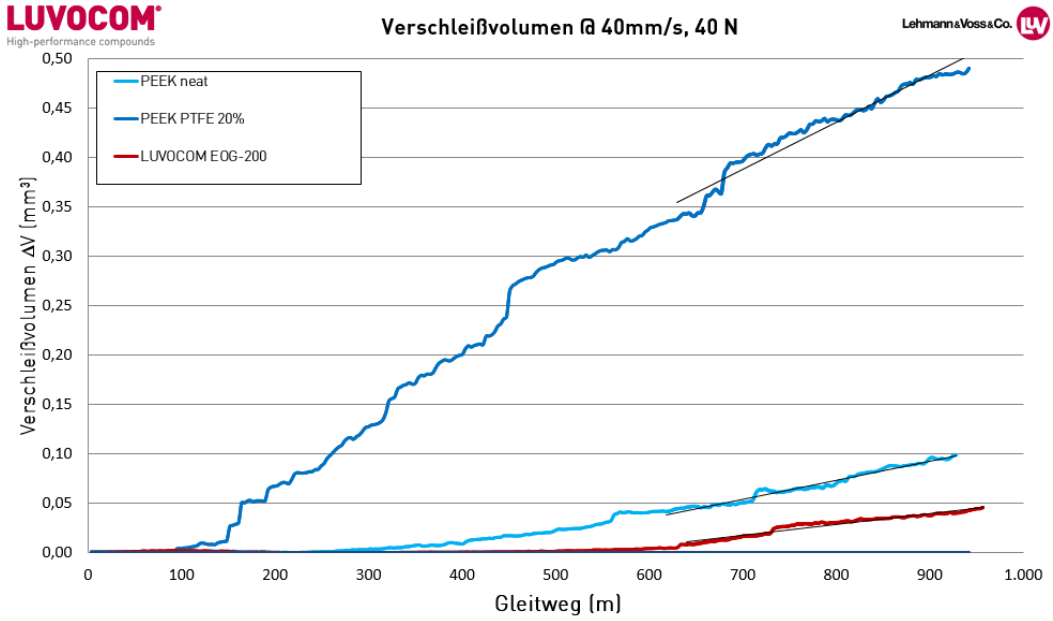
Diese Produktserie, auf Basis technischer Polymere wie POM und PA 6, bietet besonders geringe Reibungszahlen, Werte bis hin zu 0,04 (im Trockenlauf) wurden bisher erreicht. Dies war ansonsten nur mit einer zusätzlichen äußeren Schmierung möglich. Damit sind Anwendungen realisierbar, bei den es auf sehr gute Gleiteigenschaften ankommt und eine externe Schmierung nicht erwünscht oder möglich ist.

LUVOCOM® P

LUVOCOM® P sind Pulver für elektrostatische Verarbeitungsverfahren. Im Vergleich zu herkömmlichen duroplastischen Pulverlacken bieten thermoplastische Werkstoffe in vielen Anwendungen deutliche Vorteile. Der Schwerpunkt von LUVOCOM® P liegt auf tribologischen Varianten. Beschichtungen mit geringen Reibungszahlen und Verschleißwerten lassen sich hiermit umsetzen.

LUVOCOM® EOG

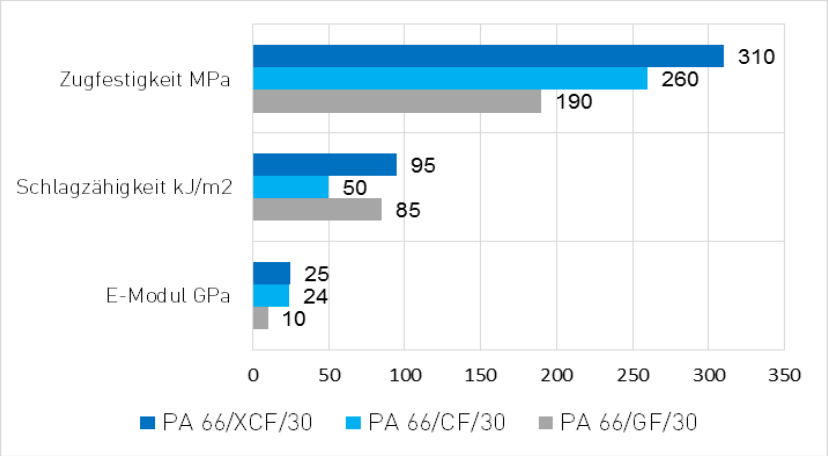
Die Öl- und Gasindustrie benötigt Werkstoffe, die eine hohe Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit, gute mechanische Festigkeit und Zähigkeit, aber auch exzellente tribologische Eigenschaften aufweisen. Anwendungen sind u.a. Dichtungen und Stützringe. Hierfür wurde die Produktserie LUVOCOM® EOG entwickelt, die unter anderem eine gute Verschleißfestigkeit aufweist und isotrope mechanische Eigenschaften aufweist.



Vergleich des Verschleißverhaltens verschiedener Materialien auf Basis PEEK mit LUVOCOM EOG. Prüfung bei Raumtemperatur, SRV-Tribometer

LUVOCOM® XCF

Durch die Verwendung von Hochleistungs-CF und Anpassung des Fertigungsverfahrens können wir mit LUVOCOM®-XCF-Compounds mit besonders hohen Festigkeiten anbieten. Zugfestigkeiten von bis zu 425 MPa und Zug-E-Moduln von bis zu 52 GPa sind erreicht. Hohe Festigkeiten sind auch für Bauteile in tribologischen Anwendungen meist von Vorteil. Sie bewirken oft eine höhere Verschleißfestigkeit.



Vergleich verstärkter PA 66 Compounds. LUVOCOM XCF zeigt hohe Festigkeiten bei gleichzeitig hoher Zähigkeit gegenüber klassischemPA 66 mit CF und PA 66 mit GF

Fazit

Die wichtigsten Hinweise in Kürze:

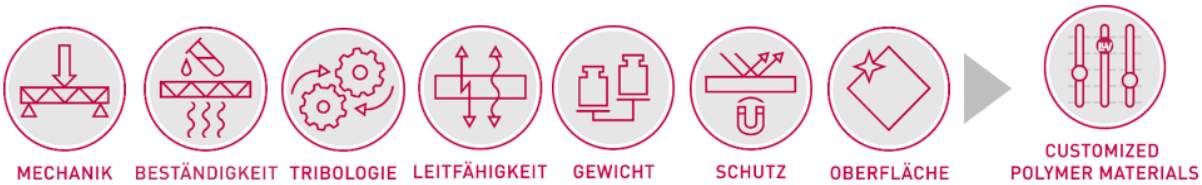
- Tribologische Anwendungen erfordern genau auf die Anwendung abgestimmte Werkstoffe (Anwendungsspezifische Entwicklung)
- Die Anforderungen an das tribologische System müssen bekannt sein
- Werkstoffauswahl auf Grundlage von Daten, Untersuchungen, Vergleichen und Erfahrung
- In Datenblättern angegebene tribologische Eigenschaften wie Reib- und Verschleißwerte sind systemabhängig und dienen nur dem Vergleich einzelner Werkstoffe, sie können nicht ohne weiteres in konstruktive Berechnungen übernommen werden
- Qualität und Verarbeitung der eingesetzten Werkstoffe entscheidet mit über Leistungsfähigkeit des tribologischen Systems

Europa & Zentrale
Lehmann&Voss&Co. KG
Alsterufer 19
20354 Hamburg
Deutschland
Tel +49 40 44 197 412
Fax +49 40 44 198 250
Email luvocom@lehvoss.de

Nordamerika
LEHVOSS North America, LLC
185 South Broad Street
Pawcatuck, CT 06379
USA
Tel +1 855 681 3226
Fax +1 860 495 2047
Email info@lehvoss.com

Asien
LEHVOSS (Shanghai) Chemical Trading Co., Ltd.
Unit 4805 Maxdo Centre
8 Xingyi Road, Changning District
Shanghai 200336
China
Tel +86 21 6278 5186
Email info@lehvoss.cn

Unsere Materialkompetenzen



LEHVOSS Group

Weiterführende Informationen, Broschüren und Datenblätter **www.luvocom.de**

Any recommendations made for use of Seller's materials are made to the best of Seller's knowledge and are based upon prior tests and experience of the Seller believed to be reliable; however, Seller does not guarantee the results to be obtained and all such recommendations are non-binding – also with regard to the protection of third party's rights –, do not constitute any representation and do not affect in any way Buyer's obligation to examine and/or test the Seller's goods with regard to their suitability for Buyer's purposes. No information given by the Seller is to be construed in any way as a guarantee regarding characteristics or duration of use, unless such information has been explicitly given as a guarantee.

12/2021