Veröffentlichung: Tribologie und Schmierungstechnik/ 58. Jahrgang, Heft 4/ Juli/August 2011

Neues Prüfverfahren zur Reibungs- und Verschleißbewertung von Kunststoff-Gleitpaarungen

Autoren:

Dr.-Ing. Jens Sumpf
Gruppenleiter Ketten-Zahnriemen-Tribologie, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ifk), Technische Universität Chemnitz

Dipl.-Ing. Arndt Schumann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ifk), TU Chemnitz

Dipl.-Ing. Sebastian Weise
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ifk), TU Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel
Direktor des Institutes für Fördertechnik und Kunststoffe (ifk), Technische Universität Chemnitz

Dipl.-Ing. Sven Eichhorn
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ifk), TU Chemnitz

Abstract

Reibung und Verschleiß sind insbesondere bei trockenlaufenden tribologischen Systemen mit Kunststoffbeteiligung sehr stark von den Belastungs- und Umgebungsbedingungen abhängig. Die Entwicklung und Charakterisierung derartiger Gleitpaarungen erfordert deshalb umfangreiche experimentelle Untersuchungen unter möglichst praxisnahen Bedingungen.

Am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ift) der Technischen Universität Chemnitz wurde ein neues Prüfverfahren auf Basis einer oszillierenden Probenbewegung entwickelt, welches sich seit mehreren Jahren als wichtiges Werkzeug bei der Entwicklung von reibungs- und verschleißminimierten Gleitpaarungen im Bereich der Fördertechnik bewährt.

Ein wichtiger Vorteil dieses Verfahrens liegt in einer flexiblen Probengeometrie, die von einfach herzustellenden, geraden Körpern bis hin zu konkreten Baugruppen reichen kann. Standardmäßig werden die Paarungen 24 Stunden getestet, Schädigungserscheinungen nach einem speziellen Bewertungsschema bewertet und das tribologische Gesamtverhalten mit Hilfe des sogenannten Tribo-Kennwertes beurteilt.

Einführung

In allen Bereichen der Technik verursachen Relativbewegungen von festen Körpern Reibung und Verschleiß. Diese tribologischen Phänomene sind in den meisten Fällen nicht erwünscht und führen nach Angaben der Gesellschaft für Tribologie in den Industrieländern zu jährlichen Schäden von mehreren Milliarden Euro.

In zunehmendem Maße werden für technische Gleitpaarungen Polymerwerkstoffe eingesetzt, die nicht zwingend geschmiert werden müssen und die aufgrund ihrer Eigenschaftsvielfalt breite Anwendungsfelder abdecken. Nachteilig sind vor allem die im Gegensatz zu Metallen relativ geringe mechanische Festigkeit sowie eine hohe Temperaturempfindlichkeit, die in Verbindung mit der schlechten Wärmeleitfähigkeit die Einsatzmöglichkeiten beschränken.

Das Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ift) der TU Chemnitz beschäftigt sich seit mehreren Jahren u. a. mit der Entwicklung von Transportketten aus Kunststoff sowie mit den damit eng verbundenen tribologischen Problemstellungen. In den Fördersystemen treten an verschiedensten Stellen Reibung und Verschleiß auf, die sowohl die erforderliche Antriebsleistung bestimmen als auch maßgeblichen Einfluss auf die mechanische und thermische Belastung der Kette und der Systembauteile ausüben. Derartige tribologische Systeme sind z. B. der mit der Masse des Transportgutes und der Fördergeschwindigkeit belastete Kontakt zwischen Kette und Gleitschienen sowie die mit der Kettenzugkraft beaufschlagten Gelenke. Die Analyse derartiger Systeme dient neben der Entwicklung spezieller Materialpaarungen auch der zuverlässigen Bestimmung der für die Dimensionierung der Förderanlagen erforderlichen Reibwerte.

Kunststoffketten werden zumeist aus Polyoxymethylen (POM) oder Polyamid (PA) hergestellt, für Gleitschienen kommen fast ausschließlich hoch- bzw. ultrahochmolekulares Polyethylen (PE-UHMW) oder Polyamid (PA) zum Einsatz. Diese Werkstoffe zählen zu den sogenannten technischen Kunststoffen mit mittleren Festigkeiten bzw. ertragbaren Temperatur (POM/PA ca. 120°C, PE ca. 80°C).

Zur Verbesserung der mechanischen bzw. tribologischen Eigenschaften werden den Polymeren oft Verstärkungsfasern oder Gleitadditive in unterschiedlichen Konzentrationen zugesetzt. Aus tribologischer Sicht wirken die Zusätze jedoch oft negativ, da z. B. an der Oberfläche austretende Glasfasern einen hohen Abrasivverschleiß des Gegenkörpers hervorrufen oder Gleitadditive das Materialgefüge schädigen und damit die Verschleißfestigkeit verringern.

Reibung und Verschleiß sind bekanntermaßen keine Materialkennwerte, sondern müssen immer im System betrachtet werden /2/. Zudem sind Reibung und Verschleiß insbesondere bei Kunststoffbeteiligung sehr stark von den Belastungs- und Umgebungsbedingungen /3/

und, weil sich die Bedingungen auch während einer vermeintlich konstanten Belastung ändern, auch von der Betriebsdauer abhängig.

Die fortwährende Entwicklung neuer Materialien führt, in Verbindung mit einer großen Anzahl von Herstellern, zu einer nahezu unüberschaubaren Vielfalt von Werkstoffen. Bei der Entwicklung von Ketten bzw. Kettenfördersystemen sind diese unter Beachtung aller Einflussparameter unter möglichst praxisnahen Belastungsbedingungen, aber mit möglichst geringem Zeitaufwand zu untersuchen. Im Folgenden wird eine Methode vorgestellt, die tribologischen Systeme hinsichtlich der immer gemeinsam zu betrachtenden Eigenschaften Reibwert und Verschleiß zu prüfen und zu charakterisieren.

Prüfprinzip und Messwerterfassung

Bei der Untersuchung spezieller technischer Systeme ist das Modellprüfsystem so zu wählen, dass die auftretenden Belastungs- und Umgebungsbedingungen möglichst praxisnah nachgebildet werden können. Aus dem vorliegenden Fall der Kettenförderer lassen sich daraus folgende Anforderungen ableiten:

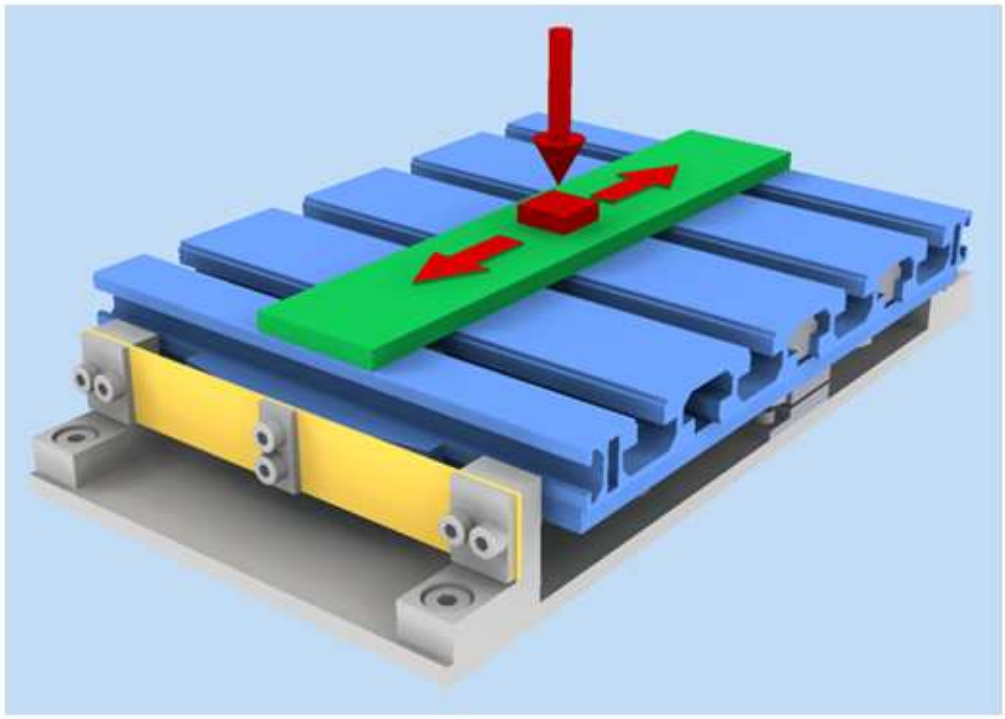
- trockenlaufende Materialpaarung mit Kunststoffbeteiligung
- relativ große Kontaktflächen (>100 mm²), Flächenpressung meist unter 1 N/mm²
- Gleitgeschwindigkeiten bis max. 1,5 m/s (meist 1 m/s)
- Versuchsdauer über mehrere Stunden bis Tage

Bei der Auswahl aus der Vielzahl von bekannten und teilweise normierten tribologischen Prüfmethoden /2/ war außerdem die weitere wichtige Forderung zu berücksichtigen, dass die Probekörper geometrisch variabel und möglichst einfach herstellbar sind, und zwar in dem Fertigungsverfahren, welches auch für die Bauteile in der Praxis verwendet wird. Der Hintergrund dafür liegt in der Tatsache, dass sich die Eigenschaften von z. B. spritzgegossenen, extrudierten oder mechanisch bearbeiten Oberflächen stark unterscheiden und deshalb nur so eine effiziente und zugleich zuverlässige Materialentwicklung möglich ist.

Entschieden wurde sich für ein oszillierendes Prüfprinzip Platte-Platte, welches die beschriebenen Anforderungen erfüllt. Der Hauptnachteil gegenüber einer kontinuierlichen Bewegung ist die infolge der ständigen Anfahr- und Bremsvorgänge begrenzte Geschwindigkeit, die jedoch durch eine Verlängerung des Gleitweges praxisrelevante Größen erreicht.

Im entwickelten Prüfprinzip (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wird die oszillierende Bewegung über einen Schubkurbelantrieb oder einen Linearmotor erreicht. Die bewegte Oberprobe (ca. 15x15 mm) wird über Federkraft auf die Unterprobe (ca. 20 x 150…600 mm) gepresst, welche auf einem Messtisch aufgespannt ist. Dieser Tisch, das

Herzstück des Prüfprinzips, ist über senkrecht angeordnete Federbleche mit dem Gestell verbunden. Die Reibkraft zwischen Ober- und Unterprobe führt zur Auslenkung des Tisches, wobei sich die über einen Wegsensor erfasste Tischbewegung (im Messbereich) proportional zur Reibkraft verhält.



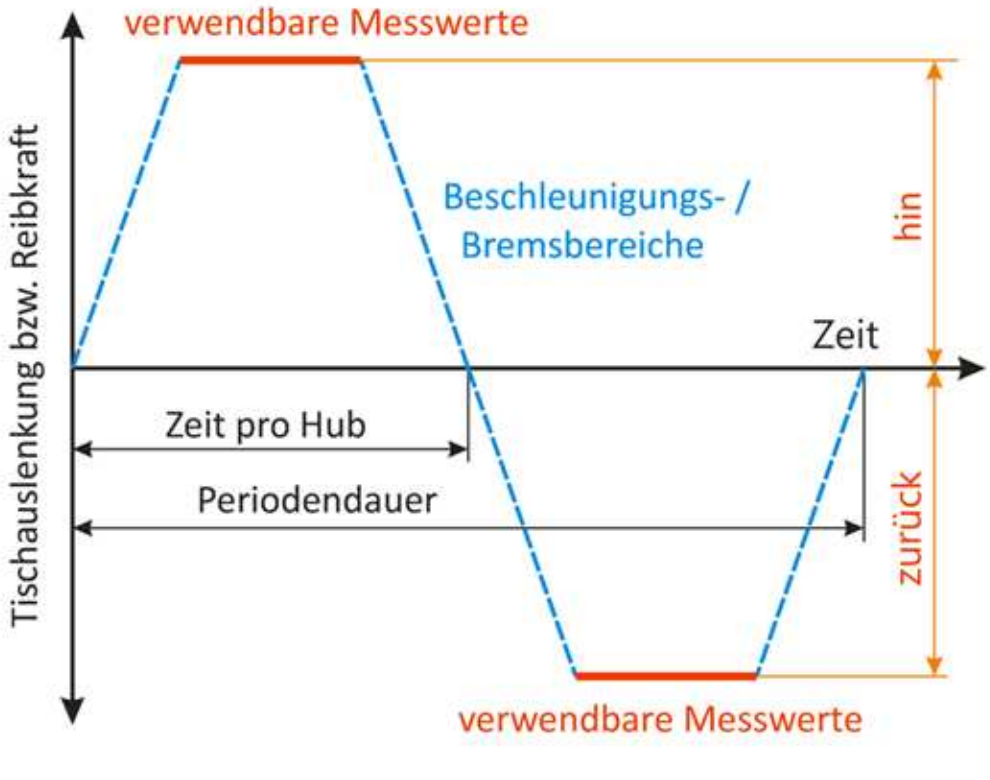


Abbildung 1: Funktionsprinzip der oszillierenden Reibwertmessung

Die Auswertung der Versuche erfolgt über die am ift entwickelte Messsoftware TriboTest, mit der Normalkraft, Reibkraft und Temperatur erfasst und aufgezeichnet werden können. Um den Reibwert zu bestimmen, werden Messwerte über etwa 3 bis 5 komplette Bewegungsperioden eingelesen. Ein wichtiger Schritt ist die anschließende Filterung der Werte, da die Bewegung nahe den Umlenkstellen durch die Richtungswechsel sowie das Anfahren und Bremsen beeinflusst wird und die Daten deshalb nicht verwendet werden können (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Da die Reibwerte bei Kunststoffbeteiligung meist einem Einlaufverhalten oder stärkeren Schwankungen unterliegen, müssen diese über einen längeren Zeitraum von mehreren Stunden gemessen werden. Das oben beschriebene Vorgehen wird deshalb in bestimmten Intervallen wiederholt und der ermittelte Reibwert aufgezeichnet (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

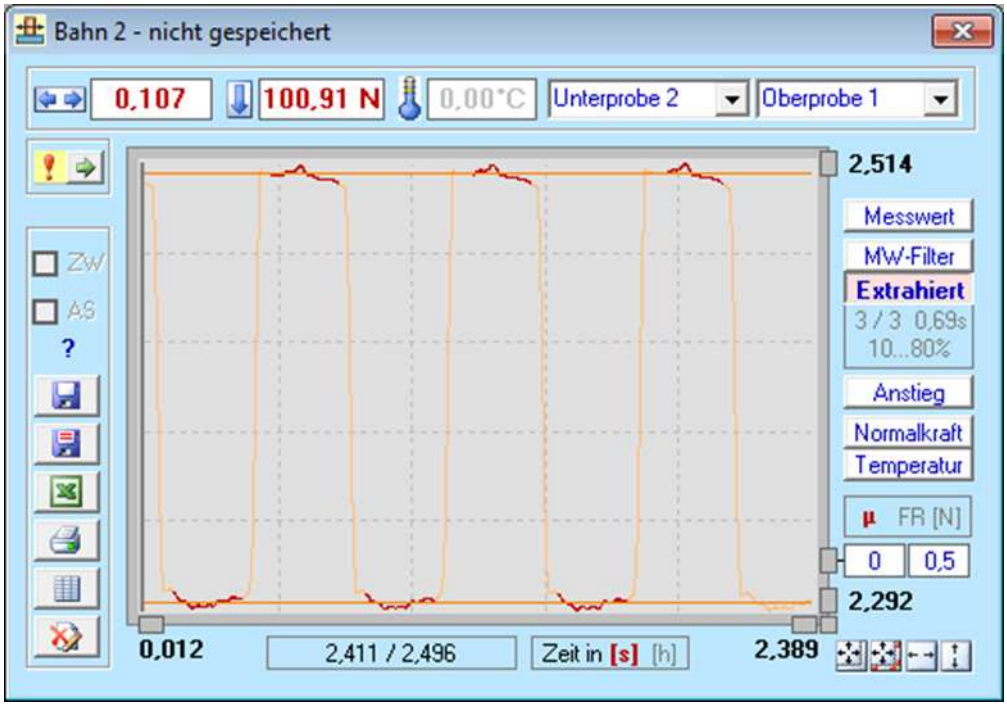


Abbildung 2: Aus Messwerten (orange) extrahierte Punkte (rot) zur Berechnung des Reibwertes im Kurzzeitversuch über 3 oszillierende Bewegungsperioden

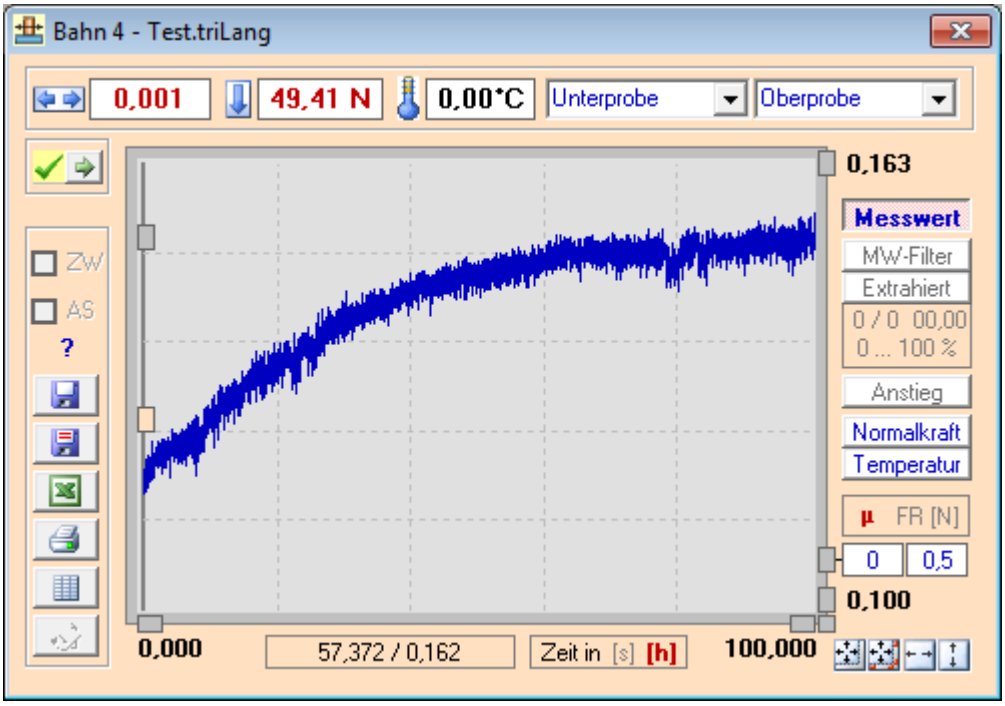


Abbildung 3: Typische Messkurve im Langzeitversuch

Reibwertentwicklung ungeschmierter Gleitsysteme mit Kunststoffbeteiligung

Der Reibwert von trockenlaufenden Kunststoffgleitpaarungen zeigt über der Versuchsdauer ein typisches Einlaufverhalten, welches durch einen relativ geringen Startwert mit darauf folgendem Anstieg in den nächsten Minuten bis Stunden gekennzeichnet ist (Abbildung 4). Der weitere Reibwertverlauf ist stark systemabhängig und kann innerhalb weniger Stunden einen weitestgehend stationären Endwert erreichen, aber auch über mehrere Tage kontinuierlich ansteigen oder relativ starken Schwankungen unterworfen sein.

Bei unbekannten Reibpaarungen wird demnach zunächst eine Untersuchung über mehrere Tage empfohlen. In den meisten Fällen geht aus diesen Tests hervor, dass bei einer Versuchsdauer von 24 Stunden ein guter Kompromiss zwischen dem Versuchsaufwand und einem zuverlässigen Testergebnis besteht.

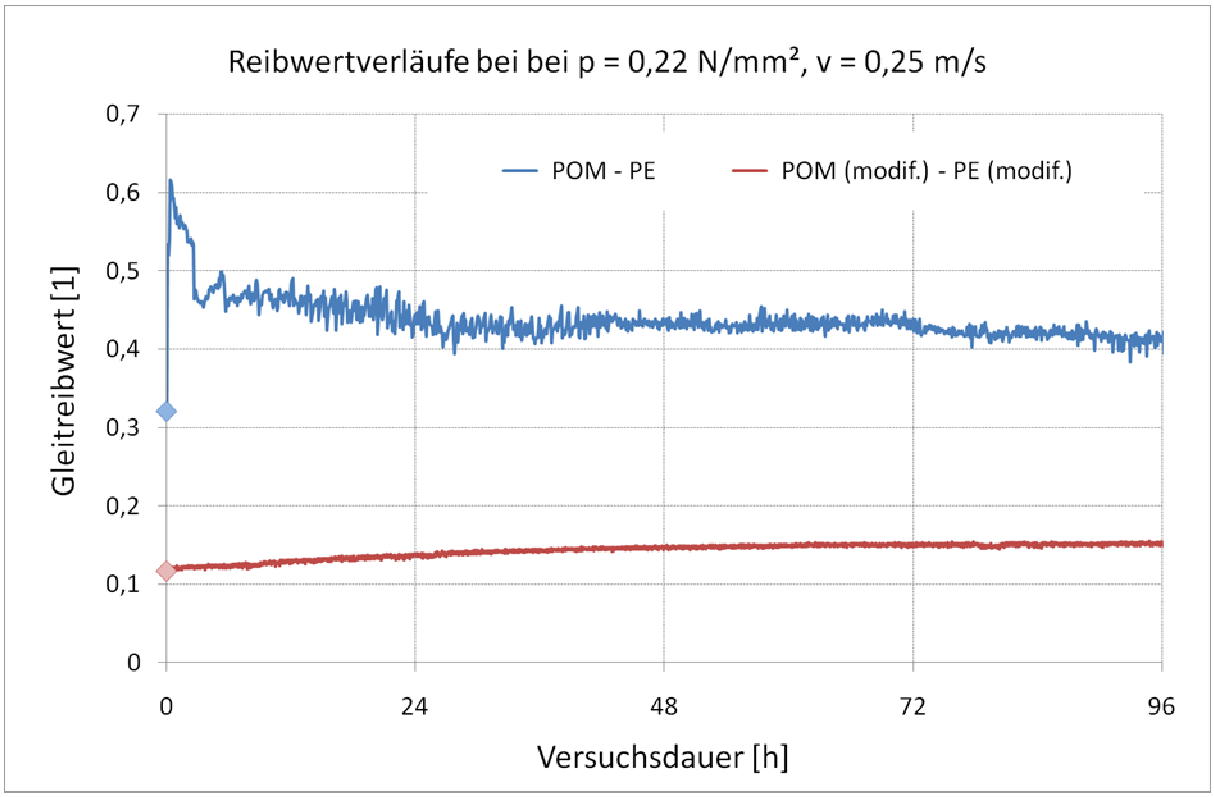


Abbildung 4: Typisches Reibwertverläufe von Kunststoffgleitpaarungen

Reibungs- und Verschleißbewertung mittels Tribo-Kennwert

Für die Charakterisierung von Gleitpaarungen sowie die Materialentwicklung ist der Reibwert allein nicht ausreichend. Es kann z. B. oft beobachtet werden, dass bei gutem Gleitvermögen ein relativ starker Verschleißabrieb vorliegt, was auf eine durch Gleitadditive hervorgerufene Schwächung der mechanischen Eigenschaften zurückzuführen ist.

Bekannte Methoden zur Quantifizierung des Verschleißes, z. B. Masseverlust oder Messverfahren zur Bestimmung des Verschleißvolumens, sind jedoch im betrachteten Prüfsystem nicht bzw. nur mit unzureichender Genauigkeit anwendbar. Polymerspezifische Gründe dafür sind u. a. Messfehler durch Feuchtigkeitsaufnahme oder Kriechvorgänge, die häufig größer sind als der oft minimale, kaum erkennbare Verschleiß der Proben.

Wie vergleichende Untersuchungen mit einem Messmikroskop zeigten, kann der Verschleiß in sehr guter Näherung mit Hilfe eines subjektiven Bewertungsverfahrens beurteilt werden. Dazu wird ein Verschleißkennwert KV ermittelt, der die Abriebmenge sowie die Verschleißspuren an Unter- und Oberprobe in einem Wertebereich von 0 bis 4 nach Tabelle 1 kennzeichnet.

Tabelle 1 Verschleißbewertungssystem (ggf. auch Zwischenstufen)

0	1	2	3	4
keine sichtbare Veränderung gegenüber einer neuen Fläche	sehr geringer Abrieb, geringe Einlaufspuren bzw. Kratzer	Abriebpartikel und deutlich sichtbare Einlaufspuren oder Oberflächen-veränderungen	sehr starker Abrieb, starke Einlaufspuren oder Oberflächen-veränderungen	verschleißbedingter Abbruch des Versuchs vor dem geplanten Ende

Aus dem gemessenen Reibwert sowie dem bestimmten Verschleißkennwert am Ende der Prüfperiode (standardmäßig nach 24 Stunden) kann nach

$$KT = \mu + (KV\ Probe\ 1 + KV\ Probe\ 2) / 10$$

ein Tribo-Kennwert KT berechnet werden, welcher den direkten Vergleich und die Bewertung von Materialpaarungen hinsichtlich der stets gemeinsam zu betrachtenden tribologischen Effekte ermöglicht. In detaillierten (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) oder vergleichenden grafischen bzw. tabellarischen Darstellungen können damit die relevanten Ergebnisse sowohl einzeln hinsichtlich Reibung und / oder Verschleiß als auch gesamttribologisch analysiert werden.

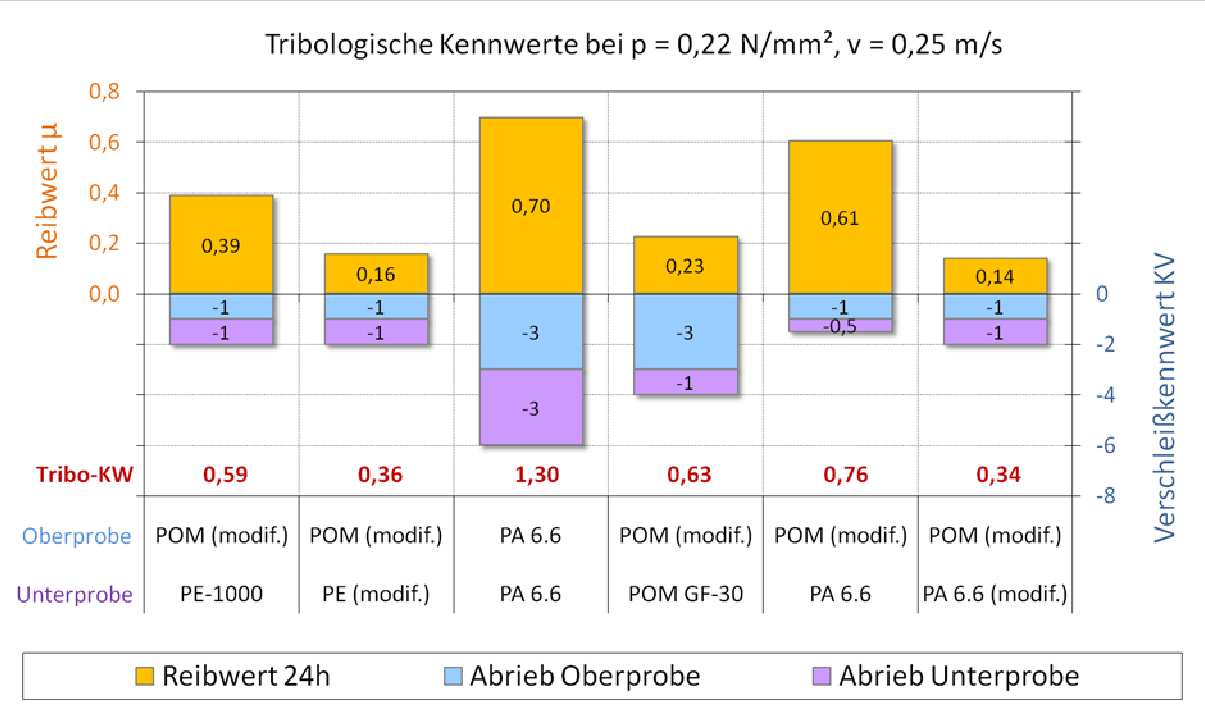


Abbildung 5: Detaillierte Darstellung der Tribo-Kennwerte; positiv: Reibwert (orange), negativ: Verschleißkennwerte KV, Gesamtbalken: Tribo-Kennwert KT

Zusammenfassung und Ausblick

Am ift der TU Chemnitz existieren derzeit 4 auf dem neuen Prüfverfahren basierende Versuchsstände mit insgesamt 12 Messplätzen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, /4/). Unter anderem sind damit Tests unter klimatisierten Bedingungen (-30…150°C, 0…100% rel. Luftfeuchte) möglich.

Das Messprinzip bildet die in der Fördertechnik auftretenden Systembedingungen sehr gut ab und ermöglicht aufgrund der ebenen Kontaktfläche und der variablen Probengestaltung eine äußerst effiziente Materialentwicklung. Mit Hilfe der langzeitigen Messwerterfassung sowie des Tribo-Kennwertes KV ist zudem eine zuverlässige Bewertung der untersuchten Materialpaarungen möglich.

Aktuell wird an einer Tribologie-Datenbank gearbeitet, die alle charakteristischen Daten des untersuchten Tribosystems enthält und in der bereits die Ergebnisse von vielen Standardprodukten und modifizierten Kunststoffen unter verschiedenen Belastungs- und Umgebungsbedingungen erfasst sind. Die Weiterführung der Datenbank soll zukünftig eine noch schnellere und zuverlässigere Einordnung von neuen Gleitpaarungen und Entwicklungsprodukten ermöglichen.

Abbildung 6: Reibungs- und Verschleißprüfstand „TriboBoxer“ mit 4 Messstellen

Literatur

/1/ Homepage der Gesellschaft für Tribologie e. V. Online: http://www.gft-ev.de/tribologie.htm (Stand 29.11.2010).

/2/ Czichos, H., Habig, K.-H.: Tribologie-Handbuch. 3. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, 2010.

/3/ Erhard, G.: Konstruieren mit Kunststoffen. 4. Aufl., Carl Hanser Verlag, 2008.

/4/ Sumpf, J.: Homepage der Arbeitsgruppe Ketten-Zahnriemen-Tribologie, Technische Universität Chemnitz. Online: http://www.gleitketten.de (Stand 29.11.2010).