



Bild 01

Arten der Lastübertragung

Vergleicht man die Arten der Lastübertragung in Wälzlagern und Gleitlagern, so findet man vier verschiedene Funktionsweisen:

Neben Wälzlagern gibt es hydrodynamische, hydrostatische und "trocken" laufende Gleitlager. Während bei Wälzlagern die Wälzkörper die Trennung von umlaufendem und stillstehenden Lagerring übernehmen, erfolgt dies bei hydrodynamischen und hydrostatischen Lagern durch einen tragenden Öl- oder Fluid-Film, dessen Druck im Lager (hydrodynamisch) oder durch externe Pumpen (hydrostatisch) erzeugt wird.

Diese Lager werden in der Regel für rotierende Bewegung eingesetzt.

Dagegen gibt es bei Trockengleitlagern kein trennendes Medium (außer einem eventuell vorhandenen Fettfilm), weshalb hier immer ein direkter Oberflächenkontakt besteht. Als Folge sind Trockengleitlager immer dem Verschleiß ausgesetzt. Um trotz des unvermeidlichen Verschleißes die geforderte Gebrauchsdauer erreichen zu können, sind Lagerbauart, Gleitmaterialien und Lagergröße sorgfältig auszuwählen.



Kontakt Situation	
	
kleine Kontaktfläche $p \geq 1000 \text{ N/mm}^2$ Stahl/Stahl elasto-hydrodynam. hohe Geschwindigkeit kont. Rotation $\mu \approx 0,005$ → Ermüdung	große Kontaktfläche $p \leq 200 \text{ N/mm}^2$ Stahl / Kunststoff massiv/Grenzschr. niedrige Geschwind. Oszillation $\mu = 0,03 \text{ to } 0,2$ → Verschleiß
SKF Trockengleitlager von SKF	

Bild 02

Trockengleitlager im Vergleich zu Wälzlagern

Während Wälzlager eine Reihe von kleinen Kontaktflächen zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen aufweisen, zeigen Trockengleitlager in der Regel eine große Kontaktfläche zwischen Welle und Buchse. Deshalb können Gleitlager -je nach Material- meist eine größere oder sogar vielfache Last wie ein etwa gleich großes Wälzlager übertragen.

Trockengleitlager sind insoweit als Ergänzung zum Wälzlagerprogramm anzusehen, als sie auch oszillierende Lasten bei kleinen Schwenkwinkeln aufnehmen können. Meist können sie sogar größere Stoßlasten aufnehmen als Wälzlager ähnlicher Größe.

Im Gegensatz zu Wälzlagern mit sehr geringer Reibung ($\mu \approx 0,005$) weisen Trockengleitlager eine vergleichsweise hohe Reibung von $\mu \approx 0,030$ bis $0,200$ auf. Als Folge können Trockengleitlager nur bei vergleichsweise geringen Geschwindigkeiten eingesetzt werden.

Gebrauchsdauer-Ende-Kriterium	
<u>Wälzlager</u>	<u>Gleitlager</u>
<input type="checkbox"/> Bruch der Wälzkörper	<input type="checkbox"/> Spielzunahme
<input type="checkbox"/> Laufbahn- Schäden	<input type="checkbox"/> Gleitflächenverschleiß
<input type="checkbox"/> Ermüdung	<input type="checkbox"/> Reibungszunahme
<input type="checkbox"/> Ermüdung	<input type="checkbox"/> Temperaturanstieg
→ Ermüdung	→ Verschleiß
SKF	Trockengleitlager von SKF

Bild 03

Ende der Gebrauchsdauer
- Ausfallkriterien -

Für Wälzlager sind die Kriterien für das Ende der Gebrauchsdauer vor allem Wälzkörper- und Laufbahnen-Schäden, die auf **Ermüdung** zurückzuführen sind.

Vergleichbare Kriterien für Wälzlager sind:

- Verschleiß der Gleitflächen
- Zunahme der Reibung und
- Temperatur-Anstieg

mit einem Wort: **Verschleiß**.

Während für Wälzlager die Zahl der Überrollungen über die Gebrauchsdauer entscheidet, ist es nicht möglich für Trockengleitlager beschleunigte Tests zu fahren. Die den Verschleißprozeß beeinflussenden Parameter wie Reibung, Wärmeentwicklung und Wärmeleitung, Lagertemperatur und Verschleißrate sind untereinander und von der Gleitgeschwindigkeit abhängig. Ein beschleunigter Test würde zu höherer Lagertemperatur führen und wegen der beschriebenen Zusammenhänge keine Ergebnisse bringen, die sich auf Normalbedingungen übertragen ließen.



Bild 04

Verschleiß ist eine Funktion der Last

Da Trockengleitlager im Betrieb immer direkten Oberflächenkontakt aufweisen, liegt Trocken- oder Mischreibung vor und die Lager sind dem Verschleiß ausgesetzt.

Ein kleines Gedankenexperiment zeigt den Effekt: Man stelle sich vor, ein kleines Stück Kreide (so ein Rest, den man sonst wegwirft) wird mit lockerer Hand über eine Wandtafel gezogen. Man bekommt eine recht lange dünne Linie, dann ist der Kreiderest verbraucht oder verschlissen. Nimmt man ein gleich kleines Stückchen Kreide und drückt es mit voller Daumenkraft auf die Tafel, so wird es eine kurze dicke Linie hinterlassen, also nach viel kürzerer Strecke verschlissen sein.

Wir sehen also, dass bei höherer Last das gleiche Volumen (oder Gleitschichtdicke) nach kürzerem Gleitweg verschlissen ist als bei niedrigerer Last.

Hat nun noch an den Bengel von der letzten Bank in der Pause die Tafel mit Butter behandelt, so kann der Lehrer nicht schreiben, weil die Reibung zwischen Tafel und Kreide zu gering geworden ist.

Verfasser: Volker von Wenz

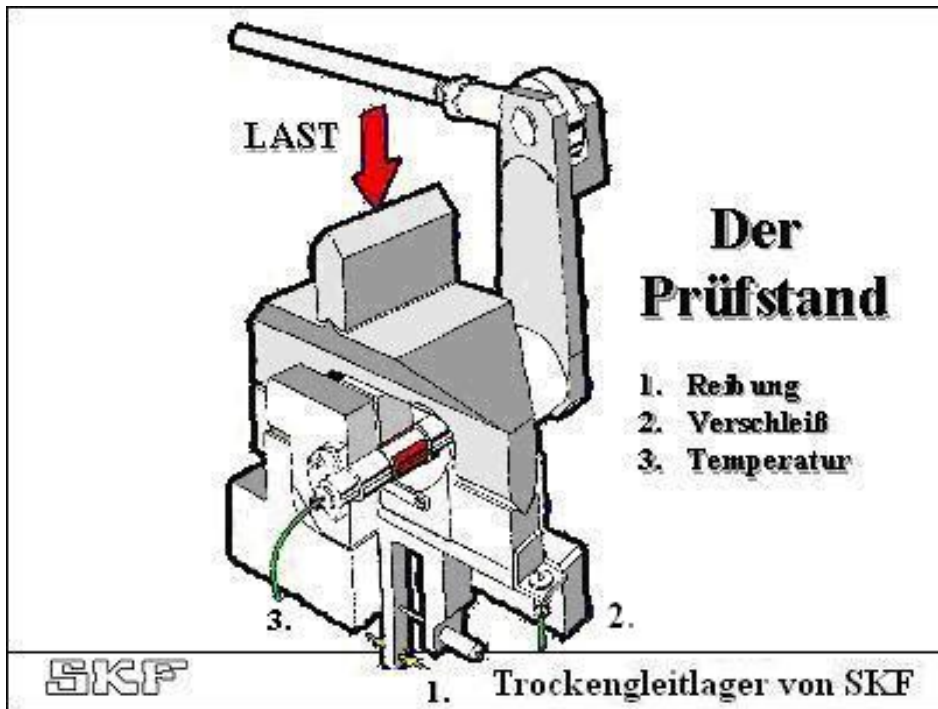


Bild 05

Der Prüfstand und die Meßgrößen

Die Auswahl von Composite Buchsen erfolgt seit Langem mit Hilfe der Gebrauchsdauerformel, die auf systematischen Tests mit unseren Standardprüfständen und Anwendungserfahrungen aus dem Feld beruhen.

Bild 05 zeigt im Prinzip den Aufbau eines Standardprüfstandes wie er für die grundlegenden Versuche mit Gleitmaterial-Paarungen verwendet wird. Die Versuchsparameter umfassen auf der Input-Seite:

- spezifische Belastung (aus Lagergröße)
- Schwenk-Winkel & -Frequenz
- Lastrichtung (einseitig/ wechselnd)
- Frequenz (bei veränderlicher Last)

auf der Output-Seite:

- Reibungs-Moment
- Verschleiß / Spielzunahme
- Temperatur.

Sobald festgelegte Grenzen der Output-Werte erreicht oder überschritten werden, wird der Prüfstand automatisch gestoppt.

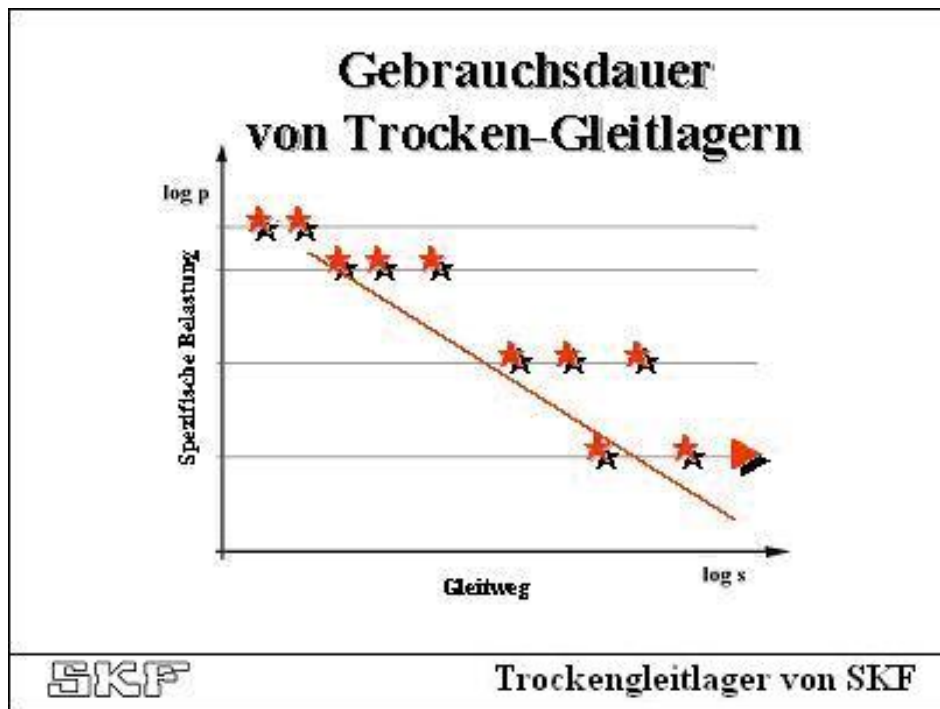


Bild 06

Gebrauchsdauer und ps-Diagramme

Versuche werden mit zahlreichen Lagern bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und spezifischen Lasten durchgeführt. Dabei werden pro Parametersatz jeweils mehrere Versuche gefahren.

Üblicherweise werden die Versuche zunächst bei relativ hohen spezifischen Lasten gefahren, um schnell erste Resultate zu bekommen. Selbst unter idealen Bedingungen und bei identischen Parametern wie Last und Geschwindigkeit wird der erreichte Gleitweg von einem zum anderen Lager etwas unterschiedlich ausfallen. Wenn wir also auf einer Laststufe Versuche mit drei Lagern fahren, können die Ergebnisse etwa so streuen wie hier dargestellt. Einzelne Ergebnisse können dabei so weit von den übrigen abweichen, dass sie als "Ausreißer" nicht zur Beurteilung herangezogen werden

Versuche auf niedrigerem Lasthorizont ergeben längere Gleitwege / Gebrauchsdauer. Die Ergebnisse von Versuchen auf mindestens drei Laststufen liegen in einem trompetenförmigen Korridor.

Verfasser: Volker von Wenz

**Die Gebrauchsdauer
von Trockengleitlagern**

Nur WENIGE Einflüsse
werden von der Gebrauchsdauerformel berücksichtigt:

$$G_h = C_{(p)} C_{(v)} C_{(T)} C_{(CLA)} C_{(m)} \frac{K}{p v}$$

ACHTUNG: Das Ergebnis dieser Rechnung
kann nur Hinweise geben.
Kontamination, Korrosion & übrige Einflüsse
können NICHT BERÜCKSICHTIGT werden!

SKF Trockengleitlager von SKF

Bild 07

Die Gebrauchsdauer von Trockengleitlagern

Wenn wir eine zulässige Obergrenze für die spezifische Belastung festsetzen, kann einem doppelt-logarithmischen Diagramm eine Gerade gezogen werden, die für die meisten Ergebnis-Punkte auf der "sicheren Seite" liegt.

Die Gleichung für dies Gerade lautet

$$p = a * s^b$$

Da die Gebrauchsdauer in Stunden unmittelbar mit Geschwindigkeit und Gleitweg zusammenhängt, kann die Gleichung umgeformt werden zu

$$G_h = K / p^m * v^n$$

wobei **K** ein Korrekturfaktor ist.

Der Einfluß von Verschleiß, Reibung und Normaltemperatur (ca. 20°C) ist bereits enthalten. Mit den Koeffizienten C_T , C_{CLA} und C_M werden Einflüsse aus Umgebungstemperatur, Rauheit der Gegengleitfläche und Material berücksichtigt.

Bitte beachten Sie:

Auch wenn mit dieser Formel Rechen-ergebnisse bis auf drei Stellen hinter dem Komma erhalten werden können, so können doch die in einer *Anwendung* erreichten Ergebnisse ganz wesentlich von der Rechnung abweichen !

Ergebnisse aus der Gebrauchsdauerrechnung liefern nur Anhaltswerte für die wirklich erreichbare Gebrauchsdauer.



Bild 08

Gleitflächen-Kombinationen

SKF bietet abgesehen von den Gleitpaarungen Stahl-auf-Metall eine Reihe von wartungsfreien und/oder wartungsarmen Lagerungen an. Gründe hierfür sind beispielsweise:

- Schmierung ist nicht erlaubt (z.B. in der Lebensmittel-Industrie)
- zu große Anzahl von Lagerstellen (zuverlässige Nachschmierung nicht sicher)
- Lagerstelle ist unzugänglich (nur mit großem Aufwand erreichbar)
- Schmierstoff erreicht die Lastzone nicht (einseitige Lastrichtung, kleine Schwenks)
- regelmäßige Nachschmierung ist aus anderen Gründen nicht sichergestellt

Bild 08 zeigt eine Zusammenstellung der bei SKF verwendeten Gleitpaarungen. Während die Stahl-Metall-Lager stets eine regelmäßige Nachschmierung (mit Fett) erfordern, ist die Situation für wartungsfreie Materialien ganz anders. Obwohl PolyTetraFluorEthylen (PTFE) im Prinzip zu den thermoplastischen Materialien zählt, wird es hier als eigene Gruppe behandelt, während wir die übrigen Materialien als Thermoplaste zusammenfassen. Beide Werkstoffe laufen gegen Stahl mit oder ohne Hartverchromung oder gegen rostfreien Stahl. Vor allem bei Fettschmierung kann auf korrosionsgeschützte Wellen verzichtet werden.

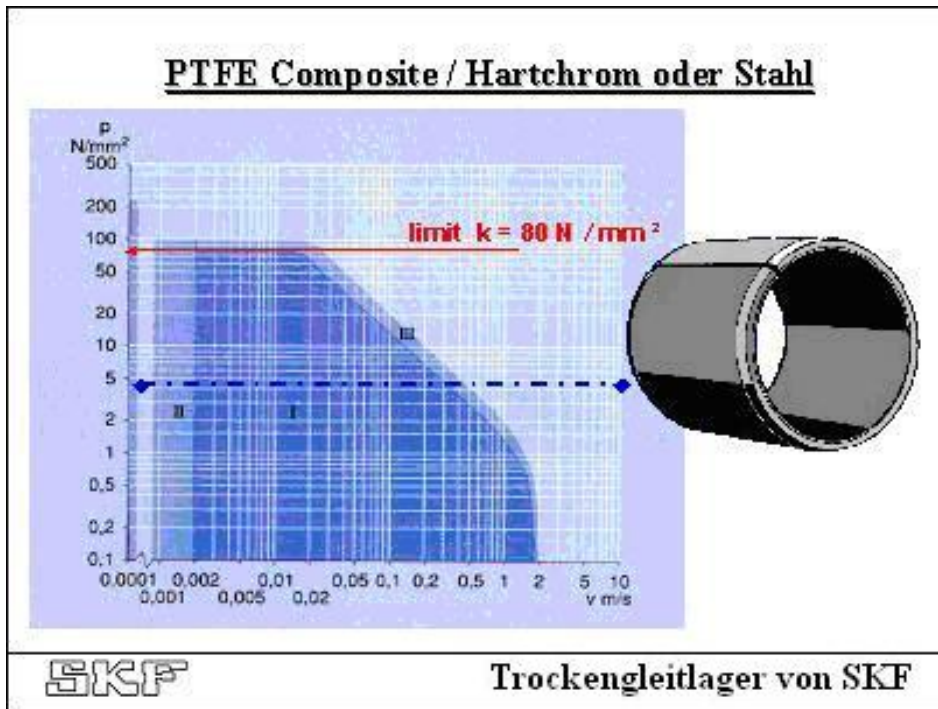


Bild 09

Gebrauchsdauer-Formel

Wann kann sie angewendet werden ?

- pv-Diagramme für jede Gleitpaarung -

Unter welchen Bedingungen die Gebrauchsdauer-Formel mit recht hoher Zuverlässigkeit angewendet werden kann, zeigt das pv-Diagramm für jedes einzelne Gleitmaterial. **Bild 09** zeigt ein solches für PTFE Composite im absoluten Trockenlauf.

Im Bereich **I** ergibt die Gebrauchsdauerrechnung recht zuverlässige Ergebnisse, im Bereich **II** liefert sie "zu gute" Werte. Im Bereich **III** besteht die Gefahr einer Überhitzung der Lager, weshalb dieser Bereich im Trockenlauf zu vermeiden ist. Die Anwesenheit von nicht-korrosiven Flüssigkeiten kann hier kühlend wirken, so dass -vorausgesetzt, dass ein Versuch unter realen Bedingungen dies bestätigt- dieser Bereich unter Umständen genutzt werden kann.

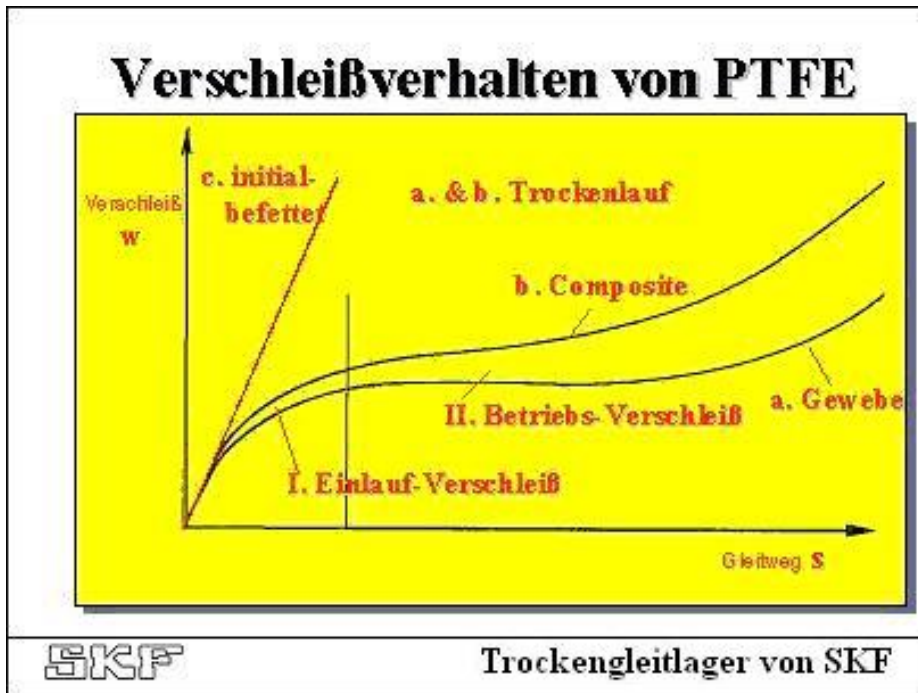


Bild 10

Nicht-lineares Verschleißverhalten von PTFE Composite

Zunächst ein Gedanken-Experiment

Stellen Sie sich bitte eine Kartoffelreibe vor. Wenn man eine rohe Kartoffel auf der gelochten Arbeitsfläche raspelt, fallen Kartoffelflocken herab, ohne sich auf der Reibe festzusetzen.

Stellen Sie sich nun vor, dass man statt einer Kartoffel eine dicke Wachskerze auf diesem Gerät reibt. Nach kurzer Zeit werden die Zacken und Löcher der Reibe mehr oder minder mit Wachs verschmiert sein, so dass kein weiterer Abtrag von der Kerze erfolgt. Das entspricht recht gut dem Fall dass eine Welle gegen PTFE läuft.

Die Beobachtung zeigt, dass während des Einlaufes PTFE Composite einen erheblichen Verschleiß pro Zeiteinheit aufweist. Während dieser Phase wird PTFE auf die Gegengleitfläche übertragen, wobei die

"Täler" der Rauheiten gefüllt werden und die Oberfläche etwas eingeebnet wird. Nachdem dieser Prozess abgeschlossen ist, geht der Verschleiß auf sehr kleine Werte zurück und ist für längere Zeit (vor allem bei PTFE-Gewebe) kaum messbar. Obgleich diese zweite Phase sehr lange dauern kann, wird sie begrenzt durch Verunreinigungen, die in den Gleitkontakt eindringen. Für PTFE in Sinterbronze ist die Situation ähnlich, jedoch geht die Verschleißrate nicht so stark zurück. Auch kommen hier mit der Zeit immer mehr Bronzepartikel an die Oberfläche, so dass der Verschleiß langsam zunimmt, selbst wenn keine Fremdstoffe in die Kontaktzone kommen. Werden solche Lager nun mit Fett geschmiert, so verhindert allein die Anwesenheit von Fett den Übertrag auf die Gegengleitfläche, aber durch die Rauheiten der Welle wird weiter Material von der Gleitfläche abgetragen. Die Buchse verschleißt vorzeitig. Deshalb ist die Fettschmierung von PTFE verboten.

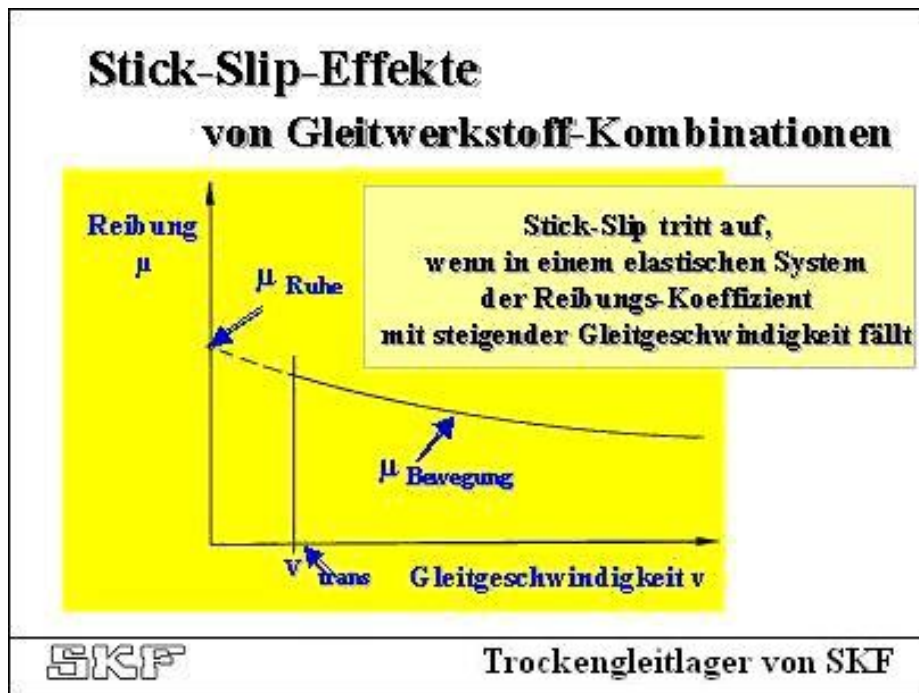


Bild 11

Stick-Slip-Effekte von PTFE -Lagern

Eine weit verbreitete Auffassung besagt, dass Lagerungen mit PTFE-Oberflächen frei von Effekten wie "Ruckgleiten" sind. Es gilt für alle trockenen Gleitkontakte, dass der Reibungskoeffizient μ in Bewegung etwas kleiner ist als in Ruhe. Um etwas in Bewegung zu setzen, benötigt man also eine etwas höhere Kraft als wenn man etwas in Bewegung halten will. Dies führt bei niedrigen Gleitgeschwindigkeiten zu Stick-Slip-Effekten.

Offenbar liegt es an der wachsartigen Struktur von PTFE, dass die Übergangsgeschwindigkeit von μ_{ruhe} zu $\mu_{Bewegung}$ so klein ist, dass Stick-Slip-Effekte kaum beobachtet werden.

Generell gilt:

Wenn Stick-Slip-Effekte vermieden werden müssen, so muss die Stützstruktur (Gehäuse und Anschlusskonstruktion) ebenso wie die Welle sehr steif ausgeführt sein, um elastische Deformationen und Federeffekte auszuschließen, die erst Stick-Slip-Effekte ermöglichen.

PTFE darf nicht
über 280°C erhitzt werden

- ▶ PTFE ist ungiftig bis 280°C
- ▶ ab 320°C zerfällt PTFE in Fluoride
- PTFE-Lager niemals schweißen
- PTFE-Lager niemals in Kontakt mit offener Flamme bringen

weder für Montage noch Demontage

Trockengleitlager von SKF

Bild 12

Besondere Eigenschaften von PTFE **Vorsichtsmaßnahmen**

Chemisch gesehen hat PTFE keinen einheitlichen Molekülaufbau, sondern es ist ein Gemenge von verschiedenen unterschiedlich langen Molekülketten. Diese liegen zum Teil kristallin und zum anderen Teil in amorpher Form vor.

Manche Bestandteile zerfallen bei 400°C und bei 440°C, aber die ersten zersetzen sich bereits ab 320°C, wobei sie in höchst giftige Fluoride (gasförmig) zerfallen.

Deshalb darf PTFE unter gar keinen Umständen, weder bei Montage noch Demontage (auch nicht wenn das Lager nur verschrottet werden soll) **die Grenztemperatur von 280°C überschreiten**



Bild 13

**Unterschiedliches Verschleißverhalten
von
wartungsfreien Gleitwerkstoffen**

Bitte beachten Sie:

Wartungsfreie PTFE-Gleitflächen
weisen eine nicht zu vernachlässigende
Einlauf-Phase auf, die nicht aufhört,
sofern das Lager be fettet wird.
Aus der Einlaufphase resultiert das nicht-
lineare Verschleißverhalten solcher Lager.

Eine Fettschmierung **verkürzt** wesentlich
die Gebrauchsdauer.

Thermoplastische Gleitflächen
sind wartungsfrei oder wartungsarm und
zeigen einen fast linearen Verschleiß, der
durch Fettschmierung unterbrochen
werden kann.

Hier **verlängert** eine Fettschmierung die
Gebrauchsdauer wesentlich.

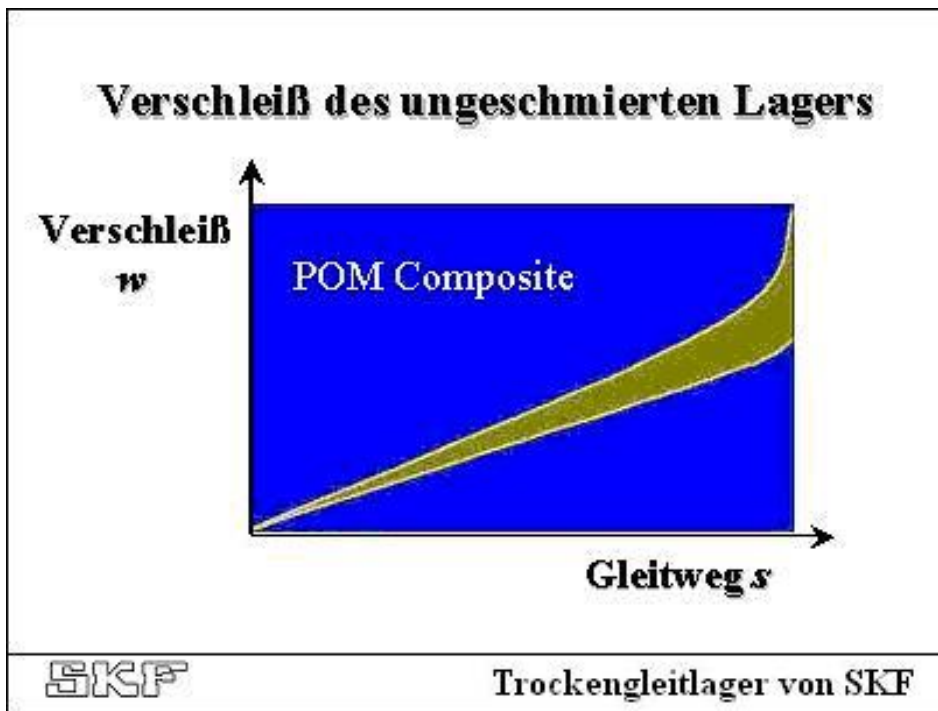


Bild 14

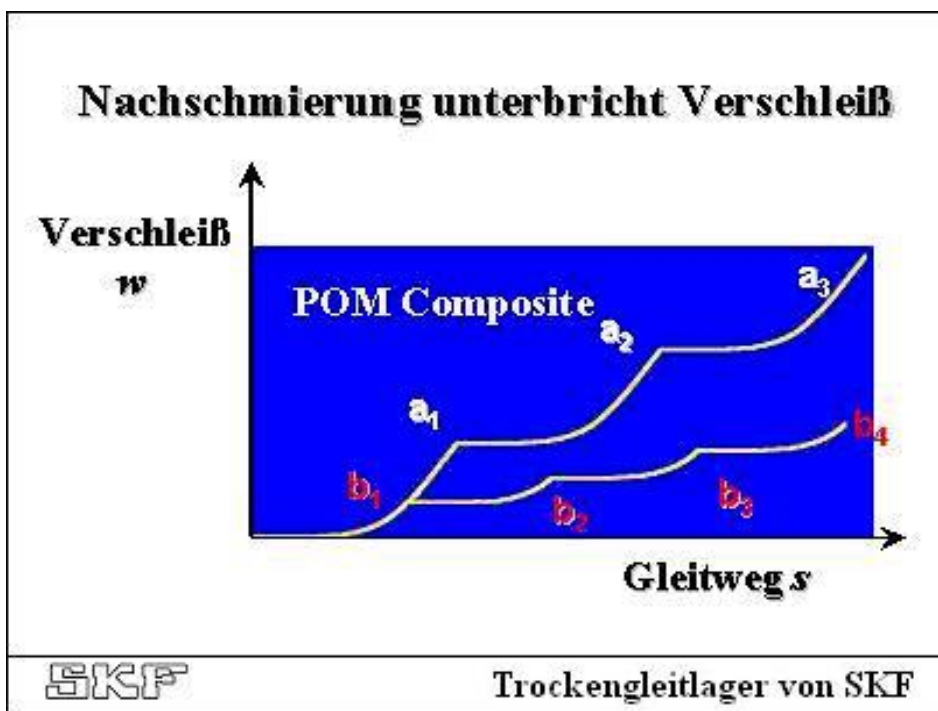


Bild 15