

Verschleiß in axial bewegten Zahnwellenverbindungen – Ergebnisse der Untersuchung an Schmierstoffen

Schmelter, R.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.

In der letzten Institutsmitteilung wurde ein neuer Prüfstand zur Ermittlung real auftretender Reibwerte in axial verschiebbaren Zahnwellenverbindungen vorgestellt. In diesem Artikel werden nun die erzielten Ergebnisse zum Einfluss des Schmierstoffes im Kontaktbereich dargestellt.

In the last issue, a new test-setup for experimental investigation of real-life coefficients of friction in spline shafts under axial motion was introduced. The influence of different lubricants in that special kind of sliding contact as a result of the first tests will be represented in that article.



1 Einleitung

Durch die sinnvolle Zielsetzung, die Effektivität von Antriebssträngen ständig zu steigern, werden die Anforderungen an Komponenten im Antriebsstrang, aber auch der Anspruch auf eine genaue Berechnung dieser, immer härter. Eine wesentliche Komponente ist dabei in vielen stationären und mobilen Antrieben die Kreuzgelenkwelle mit Längenausgleich, welche häufig zum Ausgleich von radialem und winkligem Versatz vor allem bei erforderlicher axialer Freiheit eingesetzt wird. Jedoch treten bei axialer Verschiebung im Längenausgleich nicht unerhebliche Reibkräfte auf, welche zum einen die Anschlussstelle belasten, zum anderen Verschleiß im Längenausgleich hervorrufen. Es ist aus vorrangegangener Forschung bekannt /2/, dass die Reibwerte im geschmierten Gelenkwellen-Längenausgleich unter realen Belastungssituationen wesentlich höher sein können, als von den Gelenkwellenherstellern angenommen. Dadurch verschleißt nicht nur der Längenausgleich stärker, auch die Belastung der Anschlussstellen erhöht sich um ein nicht genau vorhersagbares Maß. Um erstmals genaue Reibwerte im Längenausgleich unter realitätsnahen Belastungen ermitteln zu können, wurde in der letzten Institutsmitteilung /1/ ein Prüfstands-aufbau (Abbildung 1) vorgestellt.

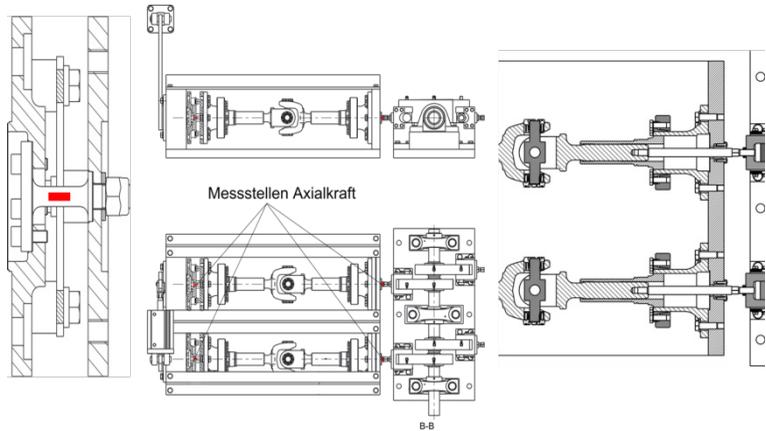


Abbildung 1: Prüfstand zur Reibwertermittlung, Messstellen sind rot markiert

2 Versuchsdurchführung und Parameter

Im Prüfstand werden die Proben mit einer Frequenz von 1Hz und einem Verschiebeweg von 1mm unter Belastung mit einem Torsionsmoment von 500Nm axial bewegt. Die Prüfteile sind Zahnwellenverbindungen nach DIN5480-32x2x4. Da ein ständiges Belasten der Zahnflanken zu einem sehr schnellen Fressen in der Zahnwellenverbindung führt, wird aller 40s das Torsionsmoment für 20s abgestellt. Dadurch wird erreicht, dass aus der Verzahnung gepresster Schmierstoff teilweise wieder in den Zahnkontakt transportiert wird. Die gemessene Axialkraft F_{ax} wird nach Formel 2.1 (nach Seherr-Thoss /3/) in einen Reibwert umgerechnet.

$$\mu = \frac{F_{ax}}{T} \cdot \frac{d_B}{2} \cdot \cos \alpha \quad 2.1$$

F_{ax} – axiale Verschiebekraft [N]

T – Verspannmoment [Nm]

d_B – Bezugsdurchmesser der Verzahnung, 32mm

α – Eingriffswinkel, 30°

Die in den Versuchen verwendeten Schmierstoffe sind aus Herstellerkatalogen ausgewählt und daher standartmäßig verfügbar. Bisher wurden fünf verschiedene Schmierstoffe untersucht und ausgewertet. Es handelt sich dabei um zwei Universalfette sowie drei

lithiumverseifte Fette verschiedener Hersteller mit einem hohen Anteil an weißen Festschmierstoffen, da von diesen die besten Ergebnisse im Bezug einer späteren Anwendung in Gelenkwellen erwartet werden. Die Universalfette stellen in den Versuchen die Referenz dar. Das erste Universalfett wurde über Jahre hinweg von vielen Herstellern als Standard schmierstoff im Gelenkwellen-Längenausgleich verwendet. Das zweite Universalfett ist das direkte Nachfolprodukt. Es werden von jedem Schmierstoff insgesamt 5 Proben untersucht.

Die geschmierten Proben werden unter den genannten Belastungen so lange axial oszillierend verfahren, bis entweder $1 \cdot 10^6$ Verschiebungen erreicht sind oder ein Reibwert von ca. 0,25 erreicht ist. Dabei wird zu Beginn jedes Versuchs das Knick- und Verdrehspiel der eingebauten Proben ermittelt. Das Verdrehspiel wird dann als Verschleißkennwert alle $1 \cdot 10^5$ Verschiebungen im Prüfstand mit einem Abstand von 45mm zur Probenachse gemessen. Dazu werden die Proben mit einem Drehmoment von $\pm 50\text{Nm}$ belastet.

3 Ergebnisse

In Tabelle 1 ist ein grober Überblick über die geringste und größte Anzahl an Verschiebungen für jeden Schmierstoff bis Versuchsabbruch aufgeführt. Es sind sehr starke, schmierstoffabhängige Unterschiede erkennbar. Bisher gibt es nur zwei Schmierstoffe, bei denen wenigstens eine Probe die volle Anzahl an Verschiebungen erlebt hat. Bei den anderen bisher getesteten Schmierstoffen ist zum Teil schon nach sehr geringen Verschiebungsanzahlen das Abbruchkriterium erreicht worden.

Tabelle 1: Überblick über kleinste und größte erlebte Anzahl an Verschiebungen für jeden Schmierstoff

| Schmierstoff | Versuchsabbruch bei Lastwechsel | |
|----------------|---------------------------------|---------|
| | schlechteste | beste |
| 1 (Referenz) | 200000 | 270000 |
| 2 (Referenz 2) | 210000 | 500000 |
| 3 | 500000 | 1000000 |
| 4 | 65000 | 160000 |
| 5 | 450000 | 1000000 |

Der typische Verlauf eines Reibwertes über der Anzahl an Verschiebungen bis zum Abbruch des Versuchs durch Überschreitung eines maximalen Reibwertes ist in Abbildung 2 dargestellt.

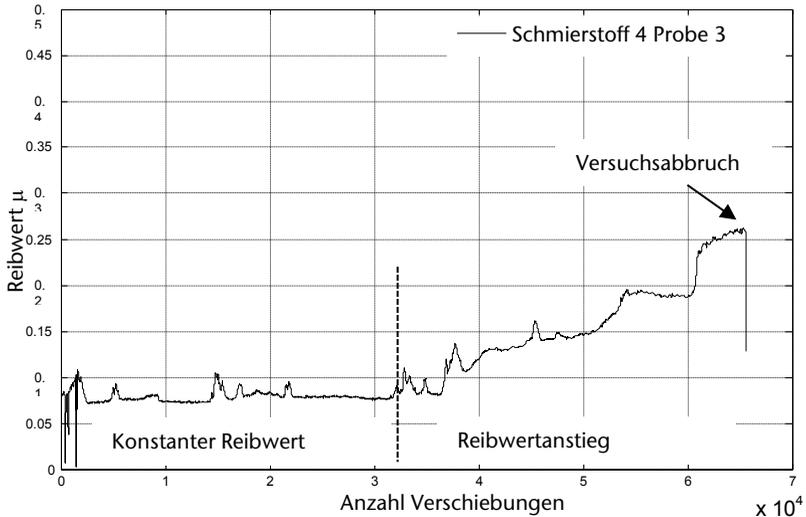


Abbildung 2: Beispielhafter Verlauf einer Reibwertkurve über der Anzahl an Verschiebungen bis Versuchsabbruch

Die Verläufe beginnen typischerweise mit einem relativ flachen Bereich mit annähernd konstantem Reibwert. Dieser Bereich wird ab und zu durch einen kurzen Reibwertanstieg unterbrochen. Vermutlich finden zu diesen Zeitpunkten schon einzelne Durchbrüche der Schmierfilmschicht auf, welche aber durch das Entlasten wieder geschlossen werden können. Werden die Störungen zu groß, beginnt der Reibwert stetig an zu steigen bis das Abbruchkriterium erreicht ist. Der Schmierstoff hat in dem Fall versagt. Um nun einen Überblick über die Eignung der Schmierstoffe zu erhalten, sind die mittleren Schmierstoffe ermittelt aus dem flachen Bereich in Tabelle 2 gelistet. Für Schmierstoff 4 ist lediglich der initiale Reibwert zu Versuchsstart verfügbar, ein mittlerer Reibwert über der Versuchszeit kann aufgrund des sehr schnellen Versagens des Schmierstoffes nicht angegeben werden.

Tabelle 2: ermittelte Reibwerte für den geschmierten Kontakt

| Schmierstoff | Initialer Reibwert | Mittlerer Reibwert |
|----------------|--------------------|--------------------|
| 1 (Referenz) | 0,1 | 0,121 |
| 2 (Referenz 2) | 0,1 | 0,111 |
| 3 | 0,1 | 0,090 |
| 4 | 0,077 | kA |
| 5 | 0,095 | 0,094 |

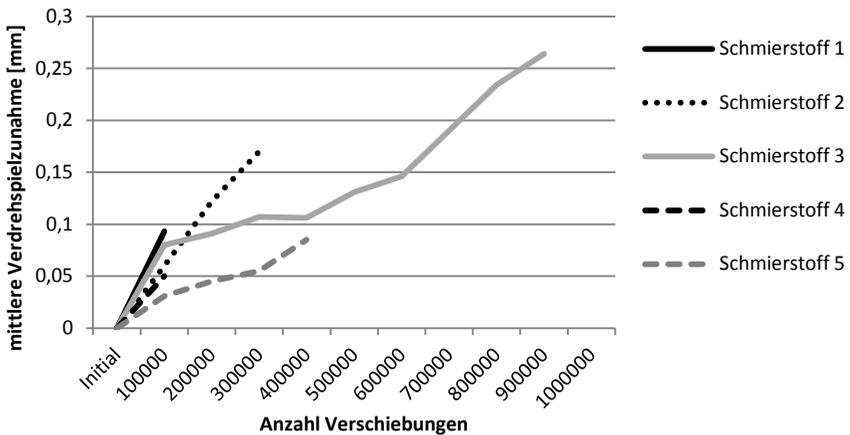


Abbildung 3: mittlere Verdrehspielzunahme

Die mittlere Verdrehspielzunahme über alle Proben eines Schmierstoffes ist in Abbildung 3 aufgeführt. Da jedoch eine Vielzahl der Proben vor Ende der anvisierten $1 \cdot 10^6$ Verschiebungen ausgefallen sind, ist die Datenlage für eine detaillierte Auswertung zu gering. Ein Vergleich der Verdrehspielzunahmen ist nur für Proben aussagekräftig, die eine ähnliche Anzahl Verschiebungen erlebt haben. Jedoch lassen sich auch hier schmierstoffabhängige Unterschiede im Anstieg erkennen. Offensichtlich ist die Verdrehspielzunahme bei Schmierstoff 1 und 2 zu Beginn besonders groß, was auch zu verfrühten Ausfall führt. Die geringste Verdrehspielzunahme ist für Schmierstoff 5 zu erkennen. Jedoch mit der Einschränkung das bis 500000 Verschiebungen ebenfalls ein Großteil der Proben ausgefallen ist und nur eine Probe die volle Anzahl Verschiebungen erreicht hat.

4 Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Ergebnisse stellen einen Auszug der bisher erreichten Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben „Reibwert- und Verschleißreduzierung im Gelenkwellen-Längenausgleich“ (FVA Nr. 505II, IGF Nr. 17142 N/1) dar. Es ist bisher erkennbar, dass durch die Wahl in diesem Fall von Schmierstoff 3 der Reibwert im Längenausgleich deutlich gesenkt werden kann. Ebenfalls schützt dieser Schmierstoffzuverlässig vor einem Durchbruch des Schmierfilms und somit zu einer Verringerung des Verschleißes.

Genauere Informationen zu den aufgeführten Ergebnissen sind den Berichten zu dem Forschungsvorhaben zu entnehmen.

5 Danksagung

Der Autor bedankt sich bei der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) und ihren Mitgliedern für die inhaltliche Betreuung, sowie bei der AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) für die finanzielle Unterstützung des Projekts „Reibwert- und Verschleißreduzierung im Gelenkwellen-Längenausgleich“ (FVA Nr. 505II, IGF Nr. 17142 N/1).

6 Literatur

- /1/ Schmelter, R.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Verschleiß in axial bewegten Zahnwellenverbindungen – Prüfstand zur experimentellen Ermittlung von Reibwerten und Verschleißkennwerten, Institutsmitteilung Nr. 39, IMW Clausthal 2013
- /2/ Lau, P.; Schäfer, G.; Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.: Beanspruchungsgerechte Dimensionierung von Gelenkwellen-Profilverschiebungen (Längenausgleich), Abschlussbericht, 2011.
- /3/ Seherr-Thoss, H.-C. v.; Schmelz, F.; Aucktor, E.: Gelenke und Gelenkwellen: Berechnung, Gestaltung, Anwendungen. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer, 2002.