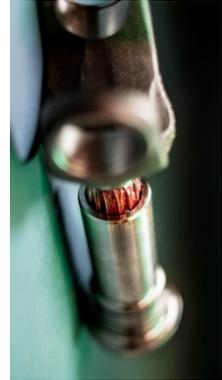


Potential moderner Schmierstoff- und Beschichtungssysteme am Beispiel axial bewegter Zahnwellenverbindungen

Teil 2 – Anwendungsversuche



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

In der letzten Ausgabe der Institutsmitteilung wurde das Potential ausgewählter Schmierstoffe und Beschichtungen am verzahnten Längenausgleich unter vereinfachter Belastungssituation zur Reduktion von Reibwerten und Verschleiß betrachtet. Der ausstehende Anwendungsnachweis an Gelenkwellen ist Gegenstand dieser Abhandlung.

The influence of different types of lubricants and coatings to friction and wear in sliding contact of spline shafts under simplified loading have been discussed in the last issue. The application of the best products in length compensation of complete cardan shafts under real-life loads are presented in this paper.

Einleitung

In der letzten Ausgabe der Institutsmitteilung /1/ sind eine Auswahl an Schmierstoffen und Beschichtungen (Tabelle 2) hinsichtlich ihrer Eignung zur Verringerung von Reibwerten und Verschleiß im verzahnten Längenausgleich von Gelenkwellen betrachtet worden. Dazu sind isolierte verzahnte Längenausgleiche (Daten in Tabelle 1) in einen Mehrfachprüfstand (/2, 3/, vgl. Abbildung 1) verbaut und unter Torsionsbelastung und axialer Verschiebung mit den tribologischen Systemen aus Tabelle 2 getestet worden. Die dabei ermittelten Reibwerte zu Versuchsbeginn und gemittelt über der Laufzeit sind in Abbildung 2 dargestellt. Aus dieser Liste sind die Schmierstoffe 3 und 5, und die Beschichtungen 4 und 5 für die Versuche an vollständigen Gelenkwellen unter realer Einbau- und Lastsituation ausgewählt worden. Kriterien dafür waren zum einen niedrige Reibwerte, aber auch Reproduzierbarkeit der Versuche, erreichte Lastwechselzahl und Ausfallverhalten.

Tabelle 1: Technologische Daten Prüfverzahnung

Norm	DIN5480
Zähnezahl z	14
Modul m	2mm
Bezugsdurchmesser d_B	32mm
Überdeckungslänge	48mm ($=1,5 \times d_B$)
Eingriffswinkel α	30°

Tabelle 2: Auswahl verschiedener Schmierstoffe und Beschichtungen für die Voruntersuchung

Schmierstoff		Beschichtung, jeweils mit Referenzschmierstoff
1 Referenz		1 (Teflon)
2 (Standardprodukt)		2 (Gleitlack)
3	(weiße Festschmierstoffe)	3 Referenz
4		4 (Fluorpolymer)
5		5 (Dünnschrom)
6		

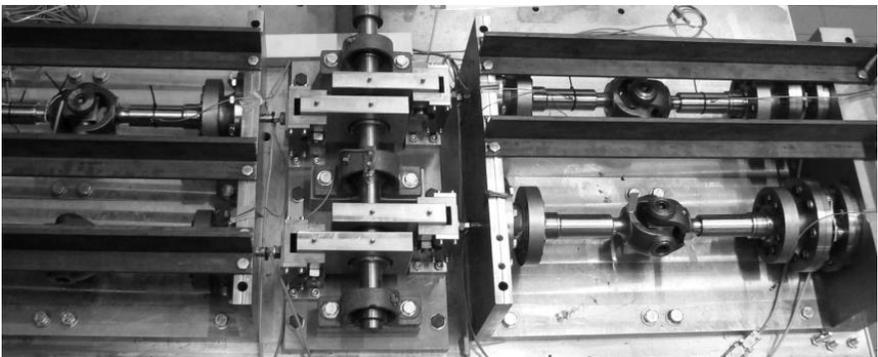


Abbildung 1: Mehrfachprüfstand zur Untersuchung von 8 verzahnten Längenausgleichen unter Torsionsbelastung bei einem Verschiebeweg von 1 mm im Längenausgleich

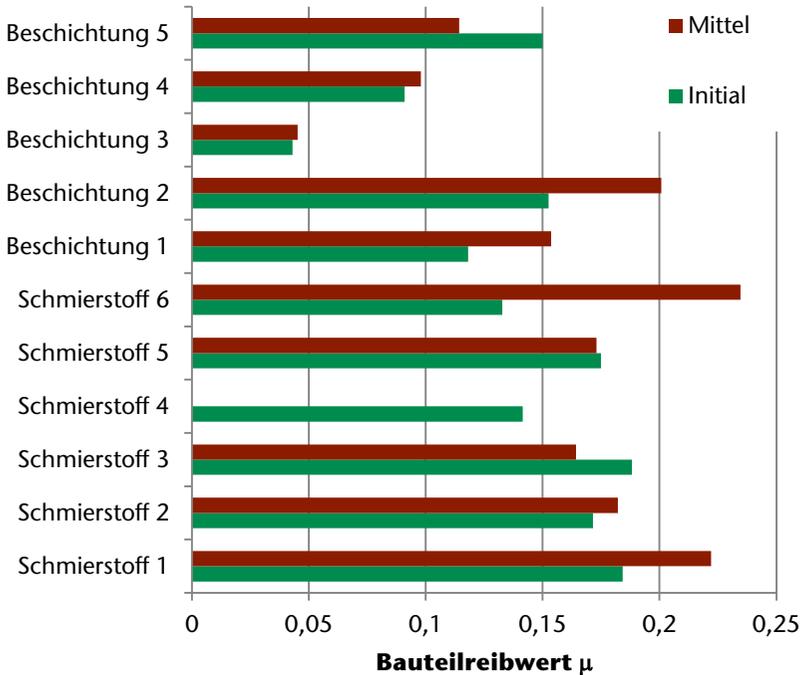


Abbildung 2: In den Vorversuchen ermittelte Reibwerte zu Versuchsstart und in der Verschleißtieflage

Gelenkwellenversuche

Die Versuche an vollständigen Gelenkwellen sind an einem Verspannprüfstand im IMW (Abbildung 3) durchgeführt worden. Dazu wurden zwei Kreuzgelenkwellen in Z-Anordnung im Prüfstand verbaut und unter folgender Belastungssituation getestet.

- Belastung 500 Nm, 40 s belastet, 20 s entlastet pro Minute
- Verschiebeweg 1 mm
- Verschiebefrequenz 1 Hz
- Rotation mit 1000 1/min

Durch die Rotation ergibt sich im Längenausgleich eine zusätzliche dynamische Biegebelastung von 80 Nm, welche in den Vorversuchen nicht dargestellt werden konnte. Die axialen Verschiebekräfte zur Bestimmung der Reibwerte wurden mit DMS-Messstellen auf dem Zwischenrohr der Gelenkwelle gemessen. Die dabei

ermittelten Reibwerte sind in Abbildung 4 im Vergleich zu den Vorversuchen dargestellt.



Abbildung 3: Verspannprüfstand mit zwei eingebauten Proben zur Durchführung der Hauptversuche

Die an den vollständigen Gelenkwellen ermittelten Reibwerte sind etwas geringer als die Bauteilreibwerte aus den Vorversuchen. Die Ursache dafür liegt in der dynamischen Biegung im Längenausgleich, wodurch in der lastfreien Zeit mehr Schmierstoff in Zahnkontakt transportiert wird und dadurch der Schmierungs-zustand verbessert wird.

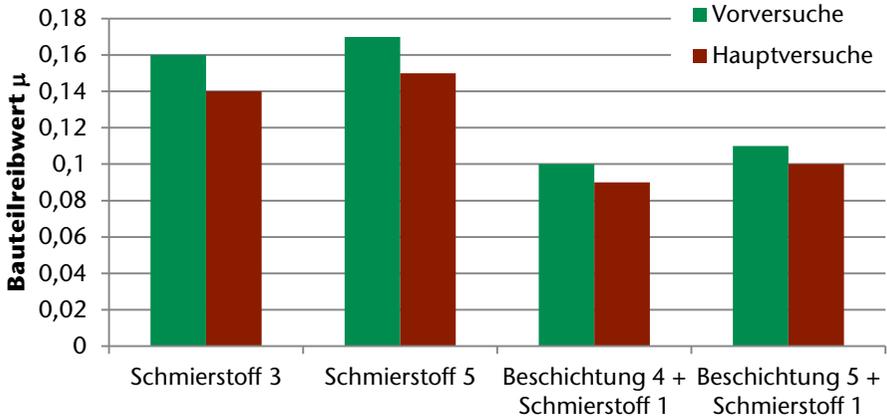


Abbildung 4: Bauteilreibwerte aus Haupt- und Vorversuche für die ausgewählten Schmierstoffe und Beschichtungen

Zusätzlich zu den Reibwerten wurde das Knickspiel im Längenausgleich als Verschleißindikator herangezogen. Dazu wurde das Zwischenrohr der Gelenkwelle vertikal in beide Richtungen belastet, eine Messuhr mit Fußpunkt auf dem Zwischenrohr misst die Verschiebung der verzahnten Welle im Abstand von 30mm zur Nabenkante (vgl. Abbildung 5). Die Messung erfolgte alle $6,6 \cdot 10^5$ Umdrehungen in Schritten von 15° über dem Umfang.

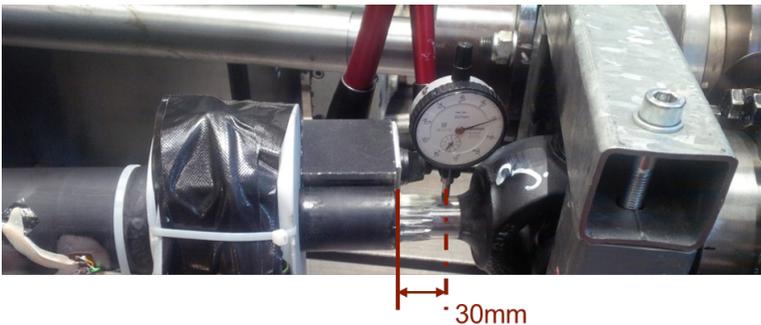


Abbildung 5: Prinzip Knickspielmessung

Jede Probe besitzt Fertigungstoleranzen und Verzahnungsabweichungen, welche ein ungleichmäßiges Tragen der Verzahnung zu Beginn der Versuche mit sich bringen. Anhand des Knickspielverlaufes (Abbildung 6) ist das deutlich zu erkennen. Allerdings normalisiert sich die Verteilung innerhalb der ersten Umdrehungen und das Knickspiel nähert sich einem Rund über dem Umfang an.

Um den Einfluss des initialen Knickspieles auf die Knickspielentwicklung zu verringern, wird dieses von den Knickspielwerten subtrahiert, danach wird über dem Umfang gemittelt.

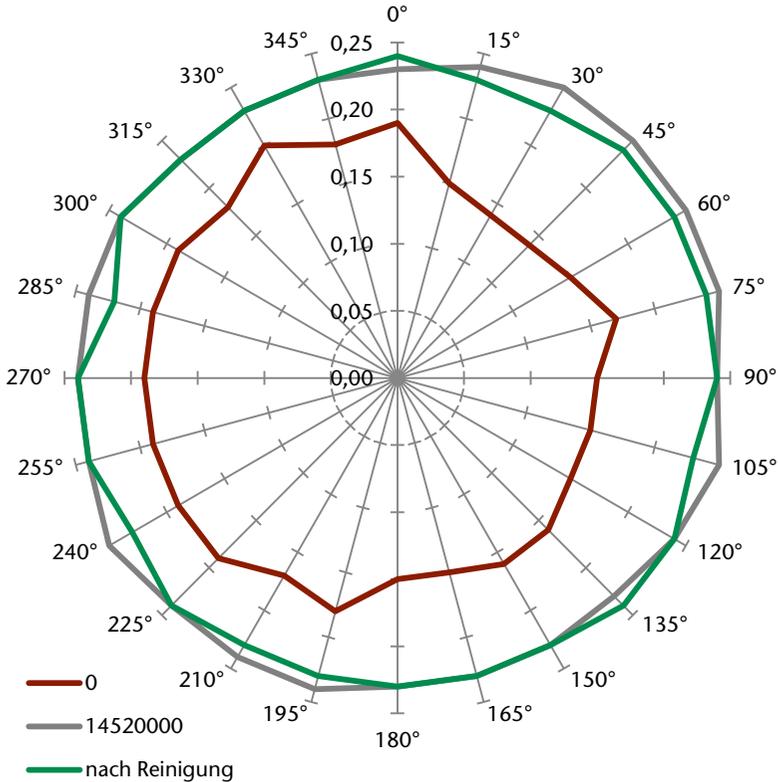


Abbildung 6: Beispielhafter absoluter Knickspielverlauf vor und nach einem Prüflauf einer Gelenkwelle

Nach einer weiteren Mittelung über die Probenanzahl für jeden Schmierstoff- und Beschichtungsversuch ergeben sich für die einzelnen Systeme Knickspielzu- nahmen, welche in Abbildung 7 dargestellt sind.

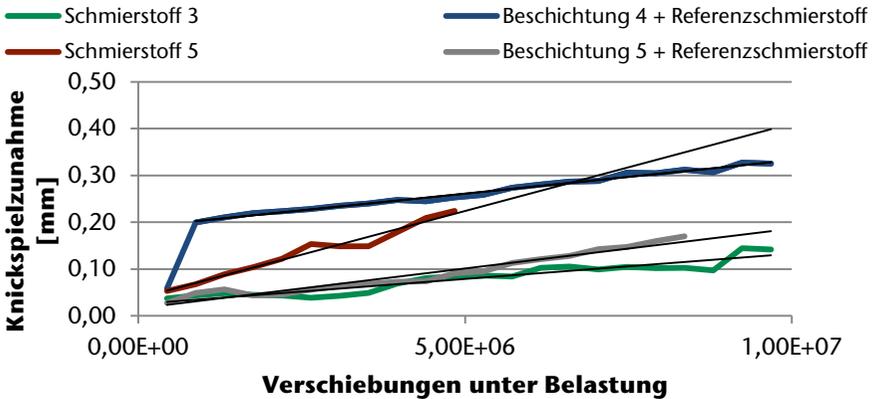


Abbildung 7: Knickspielzunahmen über Versuchsdauer

Auffällig ist der sehr starke Sprung in der Knickspielentwicklung für Beschichtung C bis $1 \cdot 10^6$ Verschiebungen unter Belastung, was auf einen deutlich verspäteten Einlaufverschleiß der Beschichtung hindeutet. Danach verläuft die Entwicklung annähernd linear. Der Anstieg des Knickspielverlaufes für Beschichtung C (geschmiert mit dem Referenzschmierstoff) ist ähnlich gering wie bei Schmierung mit Schmierstoff 3. Bei beiden tribologischen Systemen war kein Fressen der Zahnwellenverbindung im Versuch zu beobachten.

Die Versuche mit Schmierstoff 5 mussten nach ca. 50% der anvisierten Versuchsdauer abgebrochen werden, da keine Verschiebung mehr im Längenausgleich zu erreichen war.

Tabelle 3: Regressionsgeraden für die getesteten tribologischen Systeme

Tribologisches System	Anstieg [$\cdot 10^{-8} \frac{mm}{U}$]	Offset [$\cdot 10^{-2} mm$]
Schmierstoff 3	1,07	2,53
Schmierstoff 5	3,73	3,76
Beschichtung 4 mit Referenzschmierstoff	1,43	19,00
Beschichtung 5 mit Referenzschmierstoff	1,70	1,57

Die absoluten Anstiege der Regressionsgeraden sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Offsetwerte sind ein Maß für den Einlaufverschleiß.

Zusammenfassung

Durch die Anwendung von Schmierstoff 3 kann im Gelenkwellen-Längenausgleich der Reibwert gegenüber dem Referenzschmierstoff um ca. 25% dauerhaft gesenkt werden. Zusätzlich verhindert dieser Schmierstoff zuverlässig das Fressen im Längenausgleich einer Gelenkwelle. Die Gebrauchsdauer wird dadurch gegenüber dem Referenzprodukt gesteigert.

Eine höhere Reduzierung der auftretenden Bauteilreibwerte kann durch Anwendung von Beschichtungen erzielt werden. Mit Beschichtung 4 (in Kombination mit Schmierstoff 1) kann der Reibwert gegenüber der alleinigen Schmierstoffanwendung halbiert werden. Somit halbieren sich auch die Anschlusskräfte entsprechend. Im Vergleich zur bisher verwendeten Standardbeschichtung ist der Bauteilreibwert von Beschichtung 4 deutlich höher, allerdings ist diese Beschichtung bis zu 170°C einsetzbar. Beschichtung 3 kann nur bis ca. 70°C verwendet werden bevor ein Versagen eintritt.

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).

Literatur

- /1/ Schmelter, R.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Potential moderner Schmierstoff und Beschichtungssysteme am Beispiel axial bewegter Zahnwellenverbindungen, Institutsmittteilung Nr. 40, IMW Clausthal 2015
- /2/ Schmelter, R.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Verschleiß in axial bewegten Zahnwellenverbindungen – Prüfstand zur experimentellen Ermittlung von Reibwerten und Verschleißkennwerten, Institutsmittteilung Nr. 38, IMW Clausthal 2013
- /3/ Schmelter, R.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Verschleiß in axial bewegten Zahnwellenverbindungen – Ergebnisse der Untersuchung an Schmierstoffen, Institutsmittteilung Nr. 39, IMW Clausthal 2014