

Verschleiß in axial bewegten Zahnwellenverbindungen – Prüfstand zur experimentellen Ermittlung von Reibwerten und Verschleißkennwerten

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

In genormten Testverfahren ermittelte Reibwerte und Verschleißkennwerte für tribologische Systeme sind, bezogen auf den tatsächlichen Anwendungsfall, meist ungenau, da Zusatzlasten in den Testsetups (z.B. Stift-Scheibe-Kontakt) nicht berücksichtigt werden können. Zur Ermittlung solcher Kennwerte für axial bewegte Zahnwellenverbindungen existiert am Institut für Maschinenwesen (IMW) seit kurzem ein neuer Prüfstand.



Investigation of coefficients of friction and characteristic friction values in standardized test-setups often doesn't fit the corresponding values in real-life applications. For experimental investigation of these values especially for spline shafts under axial motion, a new test setup is available at Institute of mechanical Engineering (IMW).

1 Einleitung

Zur Ermittlung von Reibwerten und Verschleißkennzahlen tribologischer Systeme gibt es viele standardisierte Testverfahren (Block-Ring, Stift-Scheibe etc.). Der Vorteil dieser Verfahren liegt in der Vergleichbarkeit der Ergebnisse und den einfachen Prüfteilgeometrien. Unter realen Betriebsituationen ergeben sich jedoch oft durch Zusatzlasten, andere Kontaktbedingungen sowie ungleichmäßiges Tragen im Kontaktbereich abweichende Kennzahlen. Vor allem eine Erhöhung des Reibwertes im realen System kann zu einer unzulässigen Vergrößerung von Anschlusslasten in einem mechanischen System führen. Für die Ermittlung von Reibwerten in axial bewegten Zahnwellenverbindungen, wie diese z.B. im Gelenkwellenbau als Längenausgleich zur Anwendung kommen, wurde am Institut für Maschinenwesen (IMW) der TU-Clausthal ein neuer Prüfstand aufgebaut und in Betrieb genommen.

2 Beschreibung und technologische Kennwerte

Der im Folgenden beschriebene Prüfstand dient hauptsächlich der Ermittlung von Reibwerten in axial bewegten Zahnwellenverbindungen unter geringen axialen Verschiebewegen und niedrigen Verschiebefrequenzen unter Belastung mit einem festen Torsionsmoment.

2.1 Aufbau

Der Prüfstand (Abbildung 1 und Abbildung 2) besteht im Wesentlichen aus drei Modulen, einem Antriebsmodul (Nr. 2 in Abbildung 2) mit Kurbeltrieb (4) und zwei Prüfmodulen (1). Das Antriebsmodul dient der Übersetzung einer rotatorischen Bewegung in die translatorische Verschiebung der Zahnwellenverbindungen durch einen Kurbeltrieb. Dieser ist ausgelegt auf eine translatorische Oszillation der Prüflinge von 1mm. Durch Änderung der Hauptantriebswelle können mit vertretbarem Aufwand auch andere Verschiebewege realisiert werden.



Abbildung 1: Prüfstand zur Ermittlung von Reibungs- und Verschleißkennwerten in Zahnwellenverbindungen

Die zwei Prüfmodule sind, vergleichbar zu einem Boxermotor, links und rechts vom Antriebsmodul angeordnet. In jedem Prüfmodul können vier Prüfteile (bestehend jeweils aus verzahnter Welle und Nabe) eingebaut werden. Damit können acht Prüflinge zeitgleich im Prüfstand getestet werden. Das ermöglicht trotz der hohen Prüfdau-

ern bei tribologischen Untersuchungen einen relativ großen Umfang an gleichzeitigen Untersuchungen und somit eine kosteneffektive Prüfung.

Als Prüfteile kommen Zahnwellenverbindungen DIN 5480 32x2x14 (Bezugsdurchmesser $d_b=32\text{mm}$, Zähnezah 14, Modul 2) zum Einsatz. Angetrieben wird die verzahnte Welle über eine Schubstange. Jeweils zwei Zahnwellen sind in Reihe geschaltet und miteinander gekoppelt. Die Naben werden mit Spannringverbindungen in Anschlussflanschen befestigt und stützen sich gegen den Prüfstand ab. Jeder dieser Anschlussflansche ist mit einer DMS-Vollbrücke zur Messung der auftretenden Axialkraft ausgestattet (Markierung in Abbildung 2), somit kann an jedem Prüfteil individuell der Reibwert in der Verzahnung bestimmt werden.

Das statische Torsionsmoment wird über Hebel und doppelt wirkende Pneumatikzylinder an den Außenseiten der Prüfmodule aufgebracht und ebenfalls über DMS-Vollbrücken auf den Hebeln zur Überwachung gemessen. Die Pneumatikzylinder können elektrisch geschaltet werden, wodurch ein Abschalten der Last zur Normalisierung z.B. der Schmierstoffverteilung und zum Verhindern von Klemmen realisiert werden kann.

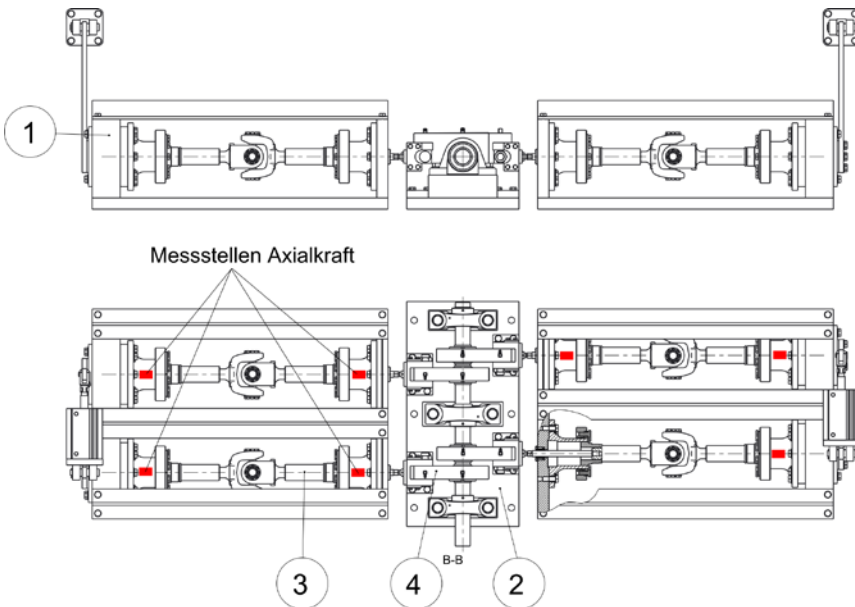


Abbildung 2: Prinzipdarstellung des Prüfstandes zur Ermittlung von Reibwerten im verzahnten Längenausgleich.

2.2 Technologische Eigenschaften

Der Prüfstand ist ausgelegt für Wellenverzahnungen mit Bezugsdurchmesser $d_b=32\text{mm}$ nach DIN 5480 /1/ (Abbildung 3), wie diese im Gelenkwellenbau als Längenausgleich eingesetzt werden. Belastet werden die Zahnwellen durch eine reine Torsionsbelastung von 500Nm unter axialer Bewegung. Damit werden Effekte die z.B. durch Fertigungsfehler und Verzahnungsabweichungen im Experiment mit abgebildet. Außerdem kann durch Aufbringen von Gewichten in der Schnittstelle zwischen zwei Prüfteilen ein Ausknicken aufgrund von Unwucht simuliert werden. Das vor allem bei Kreuzgelenkwellen in der Verzahnung auftretende umlaufende Biegemoment kann jedoch nicht abgebildet werden.



Abbildung 3: Prüfungsgeometrie - Zahnwellenverbindung mit Gelenkgabel an verzahnter Welle.

Durch zusätzliches Anbringen einer Wärmequelle an den Prüfmodulen können des Weiteren höhere Umgebungstemperaturen, wie diese z.B. in Walzwerken auftreten, simuliert werden. Weiterhin ist ein einzelnes Prüfmodul ausreichend klein um in einer Thermokammer unter niedrigen Umgebungstemperaturen betrieben zu werden. Damit können auch Reibwerte und Losbrechmomente bei tiefen Temperaturen ermittelt werden.

2.3 Ergebnisgrößen

Die Hauptaufgabe des Prüfstandes ist die Bestimmung der Reibwerte im verzahnten Längenausgleich. Zusätzlich können noch andere

Kennwerte zur Qualifizierung des Verschleißfortganges in einer Zahnwellenverbindung unter axialer Bewegung ermittelt werden. Eine wichtige Größe ist dabei die Temperatur im Betrieb, welche eine integrale Information über den Verschleiß ergibt. Diese wird auf der Nabe jedes Prüfteiltes gemessen und kann zur Auswertung der Untersuchungen herangezogen werden.

Ein weiterer wichtiger Kennwert zur Beschreibung des Verschleißfortganges in einer Zahnwellenverbindung ist das Verdrehspiel. Im Prüfstand kann es einfach durch Umschalten des Torsionsmomentes und Messung der sich daraus ergebenden Drehwinkeldifferenz zwischen Welle und Nabe ermittelt werden.

Im Gelenkwellenbau ist zusätzlich das auftretende Knickspiel in der Verzahnung eine wichtige Kenngröße. Mit zunehmenden Verschleiß nimmt ebenfalls das reale Knickspiel und somit die Exzentrizität zu. Das Knickspiel in der Zahnwellenverbindung kann jedoch nicht direkt im Prüfstand gemessen werden. Daher wurde eine Zusatzvorrichtung (Abbildung 5) zur definierten Ermittlung des Knickspiels in zwei Ebenen aufgebaut. Dazu wird ein Prüfling an der Nabe festgehalten, an der Welle (hier mit Gabel) wird eine definierte Last in positiver und negativer Richtung aufgebracht. Das Knickspiel wird dann mit Hilfe einer Messuhr an einer Referenzstellung der Welle gemessen. Die Position der Zahnwelle in der Nabenverzahnung wird so eingerichtet, wie diese im Prüfstand eingebaut sind.

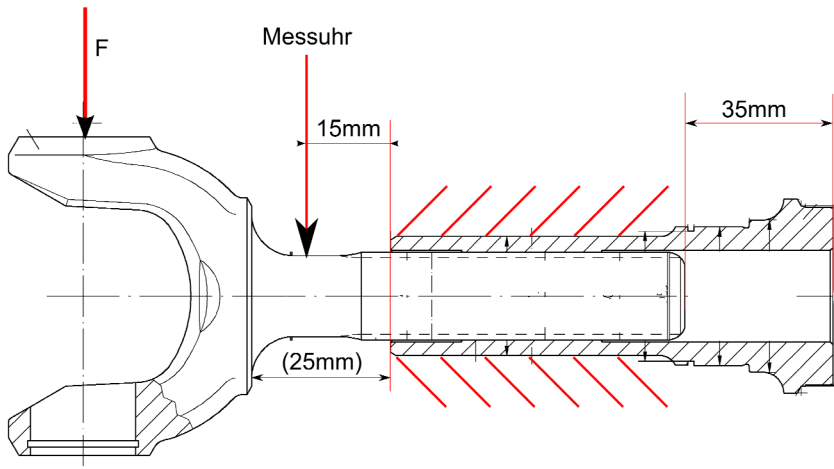


Abbildung 4: Prinzip Knickspielmessung

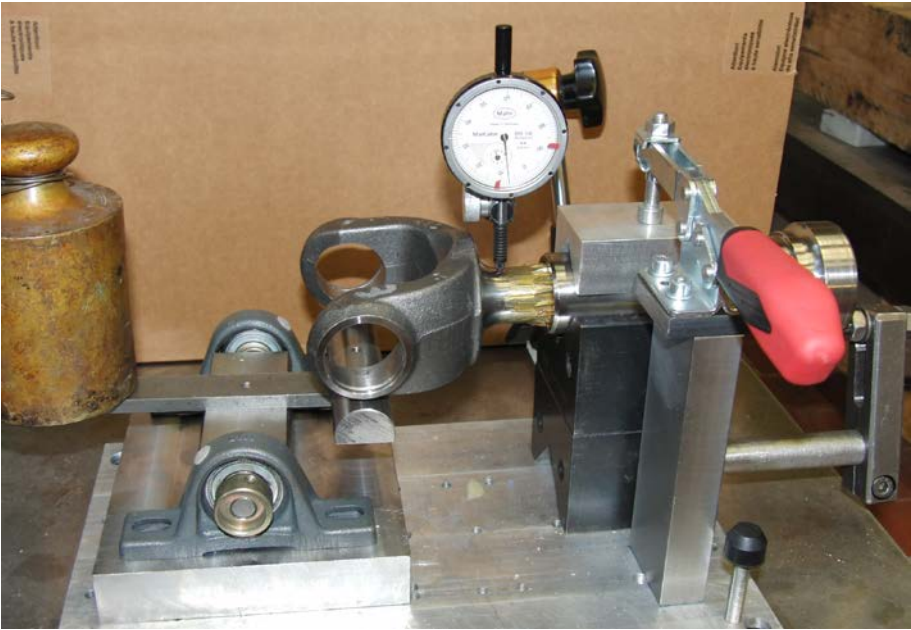


Abbildung 5: Vorrichtung zur Knickspielmessung, Belastung durch Gewicht von oben (nicht dargestellt) oder von unten (in Abbildung dargestellt)

3 Einsatzgebiet

Der Aufbau des Prüfstandes wurde durch die Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. und der AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) durch Forschungsvorhaben „FVA 505-II Reibkraft- und Verschleißreduzierung im Gelenkwellen-Längenausgleich“ (IGF Vorhaben Nr. 17142 N/1) /2/ finanziert. Ziele des genannten Vorhabens sind die Anschlusslasten an Gelenkwellen durch die Reduzierung der Reibwerte im Gelenkwellen-Längenausgleich zu reduzieren. Die Reduzierung des Verschleißes der Zahnwellenverbindung stellt ebenfalls ein weiteres wichtiges Ziel dar. Weiterhin soll der Einsatztemperaturbereich der Gelenkwellen mit Längenausgleich erhöht werden.

Um diese Ziele zu erreichen, werden im Vorhaben FVA 505-II in einer Reihe experimentelle Untersuchungen verschiedene Beschichtungen und Schmierstoffe auf ihre Eignung im Längenausgleich einer Gelenkwelle untersucht. Hauptaugenmerk dabei liegt wie auch im Vorgängervorhaben FVA 505-I /3/ in der Gelenkwelle, daher werden die

Hauptversuche an vollständigen Gelenkwellen unter realen Einbaubedingungen mit Abbeugung und Belastung durch Torsionsmoment und Drehzahl getestet. Der bestehende Gelenkwellen-Prüfstand wird dazu weiter verwendet. Da jedoch im bestehenden Prüfstand nur zwei Gelenkwellen getestet werden können, sind diese Versuche mit einer, im Vergleich zum Vorgängervorhaben verlängerten Laufzeit, sehr zeitaufwändig. Um jedoch im Laufe des Vorhabens eine Vielzahl an verschiedenen Beschichtungen und Schmierstoffen testen zu können, wird eine im Umfang relativ große Vorauswahl der tribologischen Systeme im beschriebenen Prüfstand auf ihre prinzipielle Wirksamkeit untersucht. Aus diesen Ergebnissen wird ein Ranking erstellt, aus dem nur die besten Schmierstoffe und Beschichtungen an der kompletten Gelenkwelle getestet werden.

Durch die Verwendung des isolierten verzahnten Längenausgleichs für die Voruntersuchungen als Einzelkomponente einer Gelenkwelle (Abbildung 6) wird weiterhin der Kostenaufwand für das Forschungsvorhaben verringert.

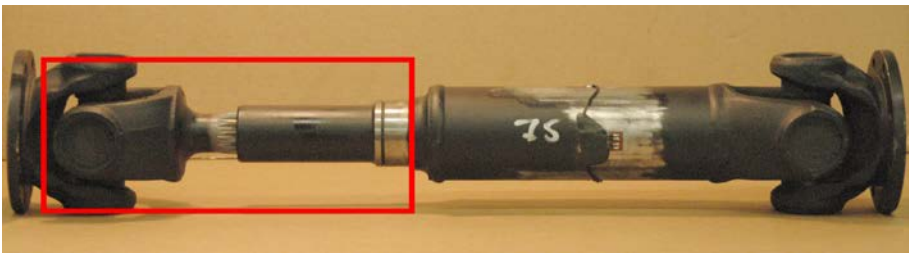


Abbildung 6: Gelenkwelle als Prüfteil für die Hauptuntersuchungen. Rot markiert ist der verzahnte Längenausgleich als Prüfteil für die Vorversuche.

4 Zusammenfassung

Durch den beschriebenen Prüfstand ist es am IMW nun möglich, anwendungsbezogene Verschleißkennwerte und Reibwerte für Zahnwellenverbindungen unter axialer Relativbewegung zu Ermitteln. Durch den Aufbau des Prüfmoduls und der Verwendung relativ einfacher Prüfteile wird eine hohe Wiederholgenauigkeit der Versuche erreicht. Die Anordnung der Prüfteile sowie die Anzahl ermöglichen effektive Untersuchungen mit zwei und mehr Prüfteilen, durch den parallelen Aufbau wird auch bei einer großen Menge an Versuchsteilen eine relativ geringe Gesamtversuchsdauer erreicht. Damit existiert nun am IMW eine preisgünstige Alternative zu den bisher vorhande-

nen Verspannprüfständen, in denen komplette Bauteiltests unter realitätsnahen Bedingungen durchgeführt werden können.

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 „Reibkraft- und Verschleißreduzierung im Gelenkwellen-Längenausgleich“ (FVA-Nr. 505-II, IGF-Nr. 17142 N/2).

5 Literatur

- /1/ Norm DIN 5480-1. März 2006. Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser.
- /2/ Schmelter, R.: FVA-505-II, Reibkraft- und Verschleißreduzierung im Gelenkwellen-Längenausgleich, Zwischenbericht, Forschungsreport 2013, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., 2013.
- /3/ Lau, P.; Schäfer, G.; Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.: Beanspruchungsgerechte Dimensionierung von Gelenkwellen-Profilverschiebungen (Längenausgleich), 2011, Abschlussbericht.