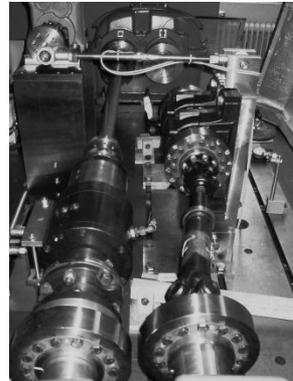


## **FVA 505/II – Optimierung des Reibkontaktes im Gelenkwellen Längenausgleich**

Schmelter, R.; Schäfer, G.



*Im Längenausgleich von Gelenkwellen entstehende Reibkräfte sind ein wesentliches Auslegungskriterium für umliegende Strukturen. Steigende Leistungsanforderung an moderne Antriebssysteme führen gleichzeitig zu höheren Lasten im Längenausgleich und resultierend in höhere Anschlusslasten. Eine Reduzierung der Reibwerte im Längenausgleich ist somit ein Ziel des jetzt angelaufenen Forschungsvorhaben FVA505/II.*

*Frictional forces resulting of axial movement in the length adjustment of universal joint shafts are important criteria for dimensioning following structures. Increasing loads in drive trains with universal joint shafts resulting in higher connection loads. Reduction of these loads is one main aim of recently started research project "FVA505/II".*

### **1 Motivation**

Kreuzgelenkwellen stellen durch die Möglichkeiten, großen axialen Versatz sowie Winkelversatz auszugleichen in vielen Antriebslösungen im Fahrzeug- und Maschinenbau eine wichtige Komponente dar. Steigende Anforderungen an moderne Antriebssysteme stellen dabei in Bezug auf das zu übertragbares Drehmoment und die Drehzahl immer höhere Anforderungen an die Einzelkomponenten einer Gelenkwelle. Vor allem bei Kreuzgelenkwellen mit Längenausgleich können diese steigenden Forderungen Probleme bereiten. Höhere Drehmomente führen dabei unweigerlich zu größeren Reibkräften bei Axialverschiebung, gleichzeitig zu höheren Verschleiß im Längenausgleich und resultierend zu größeren Anschlusslasten. Höhere Drehzahlen führen vor allem in Kombination mit größerem Verschleiß zu einem stärkeren Ausknicken des Zwischenrohres. Dieses Ausknicken verstärkt die Unwucht der Gelenkwelle. Vor allem bei schnell laufenden Antrieben hat diese verschleißbedingte Unwucht erheblichen Einfluss auf die Gebrauchsdauer der Gelenkwelle, da die unwuchterzeugten Kräfte sonst zu groß werden. Um die Leistungsfähigkeit moderner Gelenkwellen zu erhöhen, ist daher eine Reduzierung des

Reibwertes im Längenausgleich erforderlich, aber auch eine Verringerung des auftretenden Verschleißes.

## 2 Zielsetzung

### 2.1 Vorrangegangene Forschung

Im vorrangegangenen Forschungsvorhaben FVA505 wurden erstmals zwei verschiedene Gelenkwellenbaugrößen unter realitätsnahen Belastungen im Prüfstand untersucht. Ziel war dabei, Berechnungsgrundlagen für die Verschleißgrößen Knick- und Verdrehspiel im Längenausgleich zu ermitteln. Gemessen wurden dazu neben der Belastung durch Drehmoment auch die resultierenden Axialkräfte bei Verschiebung im Längenausgleich. Die daraus ermittelten Reibwerte für die bisher üblichen Materialpaarungen nitrierter Stahl/Stahl, nitrierter Stahl/nitrierter Stahl und Stahl/Rilsan, jeweils mit Schmierung mit Shell Retinax LX2, lagen zum Teil deutlich über den Angaben der Hersteller von Gelenkwellen (Tabelle 2). Gleichzeitig konnte festgestellt werden, dass vor allem die nitrierten Paarungen im Längenausgleich eine erhöhte Fressneigung aufweisen als die anderen getesteten. Für die untersuchten Materialpaarungen konnte letztendlich eine empirische Berechnungsvorschrift für Knick- und Verdrehspiel in Abhängigkeit der gelaufenen Umdrehungen und der Verteilung der Flächenpressung im Längenausgleich gefunden werden (Gleichung 2.1 und 2.2).

$$\Delta\delta = g_{KS} \cdot e^{\varepsilon \cdot p_{\text{bewertet, Rand}}} \cdot \frac{n}{n_{\text{Bez}}} \quad 2.1$$

$$\Delta\varphi = g_{Vs} \cdot e^{\varepsilon_{vs} \cdot p_{\text{bewertet, Mitte}}} \cdot \frac{n}{n_{\text{Bez}}} \quad 2.2$$

Tabelle 1: ermittelte Parameter zur Berechnung von Verdreh- und Knickspiel,  $n_{\text{Bez}} = 10^6$  Umdrehungen

Materialpaarung	Knickspiel		Verdrehspiel	
	$v_{KS}$	$\varepsilon$	$v_{Vs}$	$\varepsilon_{vs}$
<b>Stahl/Stahl</b>	$1,36 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$	$2,36 \cdot 10^{-2} \text{mm}^2/\text{N}$	$6,11 \cdot 10^{-1} \mu\text{m}$	$3,46 \cdot 10^{-2} \text{mm}^2/\text{N}$
<b>Stahl/Rilsan</b>	$6,98 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$	$3,78 \cdot 10^{-2} \text{mm}^2/\text{N}$	$9,48 \cdot 10^{-1} \mu\text{m}$	$3,39 \cdot 10^{-2} \text{mm}^2/\text{N}$

In FVA505 wurde jedoch nur der Stand der Technik untersucht. Möglichkeiten, den Reibwert und somit auch den Verschleiß im Längenausgleich durch Variation des Schmierstoffes oder der Beschichtung zu verändern, waren nicht Bestandteil der Untersuchungen. Daher können die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere tribologische Systeme übertragen werden.

Tabelle 2: Reibwertangaben verschiedener Herstellerkataloge /1-5/

<b>Hersteller</b>	<b>Reibwert Stahl/Stahl</b>	<b>Reibwert Stahl/Rilsan</b>
Voith-Turbo	0,11...0,14	0,07
Klein-Gelenkwellen	0,1	0,06
CSN-Wichmann	0,1	0,06
GWB Spicer	0,11	0,08
Elbe	0,11...0,15	0,08
In FVA 505I ermittelt	0,15...0,17	0,06...0,12

Andere Untersuchungen am IMW, ebenfalls mit dem Ziel Reibwerte im Längenausgleich zu verringern, konnten ein erhebliches Potential neuer Beschichtungen auch ohne zusätzliches Schmiermittel aufweisen. Eine Verringerung des Reibwertes um ca. 50% bis 75% im Vergleich zur geschmierten Stahl/Stahl Paarung konnte beobachtet werden. Beschränkend ist jedoch zu sagen, dass diese Beschichtungen im ungeschmierten Zustand nicht die volle Lebensdauer einer herkömmlich geschmierten Verzahnung erreichen konnten. Der Verlust der tribologisch wirksamen Schicht führte weiterhin durch die dann vorhandene Trockenreibung zu einem erhöhtem abrasiven Verschleiß der Verzahnung bis hin zum Totalausfall.

## **2.2 Geplante Forschung**

Um die angesprochenen Problemstellungen zu lösen, werden im derzeit laufenden Forschungsvorhaben gezielt verschiedene tribologische Systeme im Längenausgleich einer Gelenkwelle getestet und bewertet. Als tribologisches System versteht sich dabei der Schmierstoff, eine Beschichtung oder eine Kombination aus Schmierstoff und Beschichtung. Unter den vorgesehenen Schmierstoffen befindet sich Shell Retinax LX2 als Referenz zu FVA 505, aber auch verschiedene Schmierstoffe mit einem hohen Anteil an sogenannten weißen Festschmierstoffen. Bei den Beschichtungen stellt Rilsan B die Referenz zu



genausgleich gemessen, um letztendlich die real vorherrschenden Reibwerte zu berechnen. Außerdem wird die Temperatur des Längenausgleichs überwacht, da durch die Temperatur Rückschlüsse auf den Verschleißzustand der Verzahnung und Beschichtung gezogen werden können. Der Verschleißzustand selbst wird dann durch Messung von Knick- und Verdrehspiel während kurzer Versuchspausen quantifiziert. Diese Werte gehen letztendlich auch in die Berechnungsvorschrift ein.

Begleitet werden die experimentellen Versuche durch numerische Simulationen der Lastverhältnisse im Längenausgleich um die Anwendbarkeit der experimentell ermittelten Resultate auf weitere Geometrien und Lastverhältnisse auszuweiten. Zusätzlich wird analytisch der Einfluss von zunehmendem Verschleiß untersucht und für ein MKS-Modell aufgearbeitet.

### **2.3 Erwartete Ziele**

Die durchgeführte Forschung hat die eindeutige Zielsetzung, den Reibwert im Längenausgleich von Gelenkwellen sowie den Verschleiß der Verzahnung durch optimierte tribologische Systeme spürbar zu senken. Durch die Verwendung neuer Beschichtungen wird eine reproduzierbare Verringerung der Reibwerte von ca. 40% in Kombination mit einem Schmierstoff erwartet. Gleichzeitig kann eine Lebensdauererlängerung von ca. 20% durch die Verringerung der Reibung angenommen werden. Die Reduzierung der Reibwerte und damit der axialen Verschiebekräfte führen zu einer Verringerung der Belastung anschließender Lager, wodurch diese kleiner dimensioniert werden können.

Durch die Reduzierung des Verschleißes können zu einem die Drehzahlen der Gelenkwellen angehoben werden, andererseits können aber auch Wartungsintervalle vergrößert und somit Kosten und Material eingespart werden.

Ein weiteres Ziel der angelaufenen Forschung ist es, das bestehende Berechnungsverfahren der Verschleißparameter Knick- und Verdrehspiel zu weiter vervollständigen. Außerdem werden durch verbesserte numerische Simulation und analytische Berechnung der Gelenkwellenkinematik die Grundlagen für eine kombinierte Verschleißabschätzung mit den Mitteln der Mehrkörpersimulation und FEM-Berechnung unter real auftretenden Lastkollektiven und Belastungen gelegt. Der Einfluss von zunehmendem Verschleiß auf die Verteilung der Flächenpressung im Längenausgleich und damit veränderten Verschleißbedingungen kann damit erstmals berücksichtigt werden.

### 3 Zusammenfassung

Im vorgestellten, angelaufenen Forschungsvorhaben werden vorhandene Ansätze zur Berechnung wichtiger Verschleißkennwerte erweitert und verbessert. Hauptsächlich wird jedoch der Reibwert im Längenausgleich zuverlässig gesenkt und durch die Verringerung der Reibung der Verschleiß verringert. Dazu werden erstmals verschiedene tribologische Systeme auf ihre spezifische Wirkung im Gelenkwelenausgleich systematisch untersucht. Dadurch wird eine Reduzierung der Kosten für Wartung, Reparatur, Austausch und für anschließende Konstruktionen gesenkt werden. Dadurch ergeben sich sowohl für den Betreiber als auch für den Hersteller von Kreuzgelenkwellen mit Längenausgleich erhebliche wirtschaftliche Verbesserungen.

### 4 Literatur

- /1/ Klein-Gelenkwellen: *Verschiebekraft bei Gelenkwellen im Längenausgleich*. URL <http://klein-gelenkwellen.de>, Stand 12.08.2011
- /2/ Voith: *Hochleistungs-Gelenkwellen*. 2011
- /3/ Spicer Gelenkwellenbau: *Gelenkwellen für Industrie-Anwendungen*. 2005
- /4/ CSN Wichmann: *Katalog "Gelenkwellen für die Industrie"*. 2009
- /5/ ELBE GmbH: *Technische Seiten : Anwendungsrichtlinien und Berechnungsgrundlagen für Kardan-Gelenkwellen*. 2010