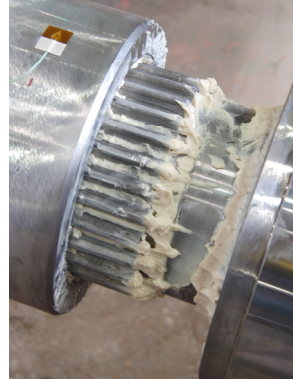


Gelenkwellenverschiebekräfte

Schäfer, G.; Stahr, K.

Die Verschiebekräfte im Längenausgleich von Gelenkwellen stellen ein wesentliches Kriterium für die Auslegung der benachbarten Komponenten in einem Antriebsstrang dar. Abhängig von der gewählten Reibpaarung und dem Schmierzustand kann es zu Schwankungen mit dem Faktor 3 kommen. In einem Projekt wurden mit zwei Industriepartnern die Reibungsverhältnisse vom IMW experimentell bis -40°C untersucht.



The displacement forces in the cardan joint of a drive shaft are very important for the dimensioning of connected parts in a drive line. The friction coefficient depends on the material combination and lubrication and can vary within a wide range. In collaboration with two industrial partners, IMW accomplished experimental investigations concerning conditions of friction down to -40°C .

1 Allgemeine Grundlagenergebnisse

Gelenkwellen sind als mechanische Antriebskomponenten ideal geeignet hohe Leistungen speziell zwischen radial und axial versetzten Wellen zu übertragen. So findet man sie beispielsweise in großer Stückzahl in Straßen- und Schienenfahrzeugen, Krananlagen, Walzwerken, Mühlen, Land- und Baumaschinen, sowie dem allgemeinen Maschinenbau. Die Gelenkwelle stellt ein klassisches Zulieferteil dar, das sowohl von KMU in die Großserie geliefert als auch von KMU im Sondermaschinen- und Anlagenbau angewendet wird. Die Gelenkwelle besteht aus zwei winkelbeweglichen Kupplungen (allgemein Kreuzgelenken) und einem axial ausgleichenden Schiebestück, dass in der Vielzahl der Anwendungsfälle als Zahnwelle ausgeführt ist. Um die steigenden Leistungsanforderungen bei beschränktem Bauraum erfüllen zu können, wird zunehmend auf höhere Drehmomentdichten und Drehzahlen ausgewichen. Beide Lösungspfade stellen in der Praxis erhebliche Anforderungen an die einzelnen Funktionsabschnitte einer Gelenkwelle.

Erhöhte Drehmomentdichten behindern durch die damit verbundenen erhöhten Flächenpressungen reibwertabhängig die axiale Verschieblichkeit, woraus signifikante Anschlusskräfte und –momente re-

sultieren können. Diese Schnittstellen-Lasten führen häufig bei den benachbarten Komponenten des Antriebsstrangs zu vorzeitigen Schäden, da Ihre Größen nur schwer vorher bestimmbar sind.

Ebenso kritisch ist, dass der verzahnte Längenausgleich durch die Relativverschiebungen unter Torsions- und Biegemomentbelastung erheblich verschleißgefährdet ist. Als Folge des Verschleißes kommt es zu Exzentrizitäten zwischen den beiden Gelenkwellenabschnitten, was Unwuchtanregungen im Betrieb zur Folge hat.

Bezogen auf die oben bereits erwähnten reibwertabhängigen Verschiebekräfte, hat sich im Gelenkwellen-Vorhaben S747 der Stiftung Industrieforschung am IMW gezeigt, dass die Werkstoffpaarung auch unter Berücksichtigung eines Schmierfettes ganz erheblichen Einfluss hat, siehe **Bild 1**. Die vier bei 13 kN und -13 kN endenden Linien stellen dabei die Hüllkurven der oszillierenden Verschiebekräfte dar. Der ähnliche in der unteren Bildhälfte bis ca. 0,4 ansteigende Verlauf gibt den aus Drehmoment und Verschiebekraft berechneten Reibbeiwert wieder. In der Mitte finden sich dann noch zwei horizontale Verläufe, die die Antriebskraft für die Verschiebeeinheit darstellen.

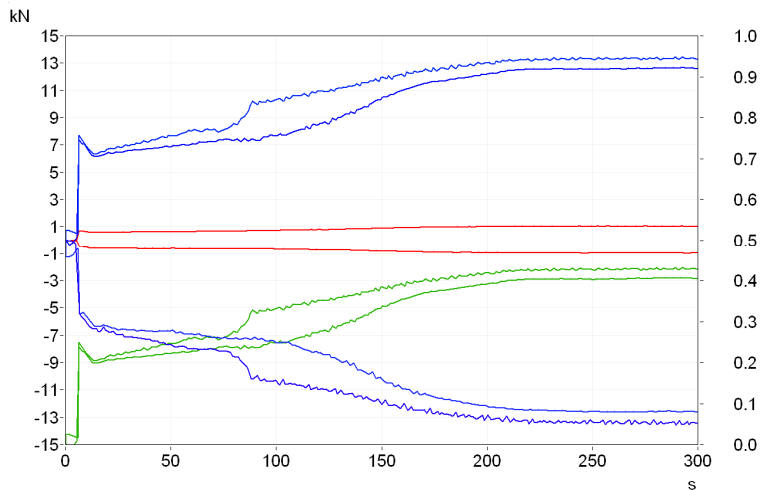


Bild 1: Axialverschiebekräfte und Reibwerte einer Gelenkwelle mit geschmiertem Stahl/Stahl-Längenausgleich über der Versuchsdauer in Sekunden; Hüllkurvenverläufe: F_{ax} (Gelenkwellen), F_{ax} (Antrieb), Reibbeiwert μ , überschlägige Berechnung des Reibwerts: $\mu = F_{ax} \cdot r/T$

Ein weiteres Ergebnis der Untersuchungen am IMW in diesem Vorhaben war, dass die Axialverschiebekräfte, als Folge des Reibwertes im Verzahnungskontakt, bei geometrisch identischen Stahl/Stahl-Paarungen deutlich größer sind als bei einer Stahl/Rilsan-Paarung. Die

Rilsan-Beschichtung als Polyamidwerkstoff verfügt aber nur über einen eingeschränkten Verwendungstemperaturbereich.

Ausgehend von diesen Grundlagenergebnissen, wurde in Zusammenarbeit mit zwei Industrieunternehmen das Verhalten der Verschiebekräfte im verzahnten Längenausgleich für deutlich größere Gelenkwellen mit 180 mm Verzahnungsdurchmesser und 2,5 m Länge experimentell untersucht. Mit den Untersuchungen sollten die Verschiebekräfte einerseits bei unterschiedlichen Drehmomentbelastungen und andererseits bei unterschiedlichen Verschiebegeschwindigkeiten bestimmt werden. Zusätzlich wurden Langzeitmessungen der Verschiebekräfte bei normaler Betriebsbelastung über 650.000 Lastwechsel durchgeführt. Abschließend wurden Versuche zum Tieftemperaturverhalten bei ca. -40°C an einzelnen Beschichtungsproben durchgeführt um das Haftvermögen der Polyamidbeschichtung und deren Kälteelastizität unter Stoßbelastung abzuschätzen.

2 Spezifischer Versuchsaufbau und Messtechnik

Für die Beantwortung dieser Fragestellungen wurde gemeinsam mit den Projektpartnern der in **Bild 2** dargestellte Versuchsaufbau mit der daran angebrachten Messtechnik entworfen.

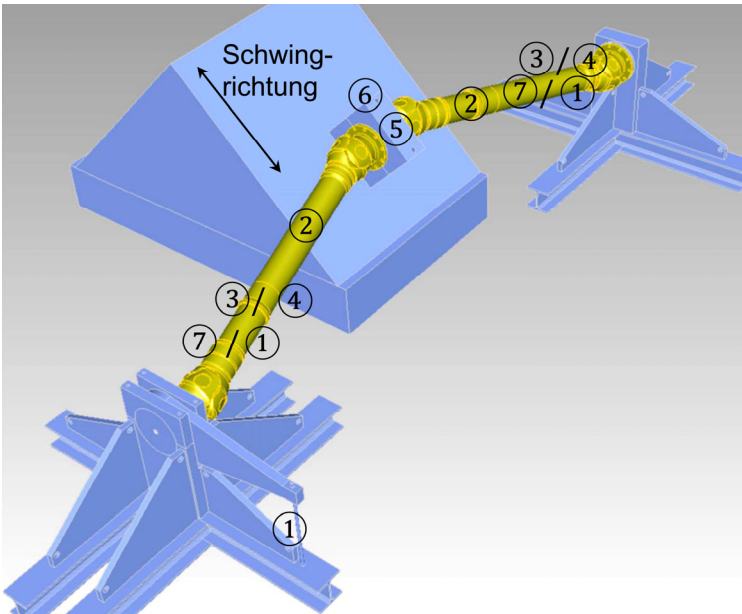


Bild 2: Prinzipieller Versuchsaufbau mit Messstellen

Im Einzelnen sind folgende Messstellen realisiert worden: 1 Torsionsmoment in den Gelenkwellen, 2 Axialverschiebekraft, 3 Axialverschiebeweg, 4 Temperatur der verzahnten Hülse, 5 Temperatur im Mittellager, 6 Beschleunigung des Mittellagers in den Raumachsen, 7 Knickspiel

Die Messstellen wurden vor Ort am Prüfstand (**Bild 3**) und den Versuchsteilen appliziert und kalibriert. Die experimentellen Messungen wurden an sechs Versuchsteilen mit verschiedenen Oberflächenpaarungen im verzahnten Längenausgleich durchgeführt. Diese Bauteiluntersuchungen deckten den Temperaturbereich von 5°C bis an die obere geplante Einsatzgrenze ab.

Aus dem Messergebnissen konnten zulässige Betriebsparameterkombinationen gewonnen und bestätigt werden.

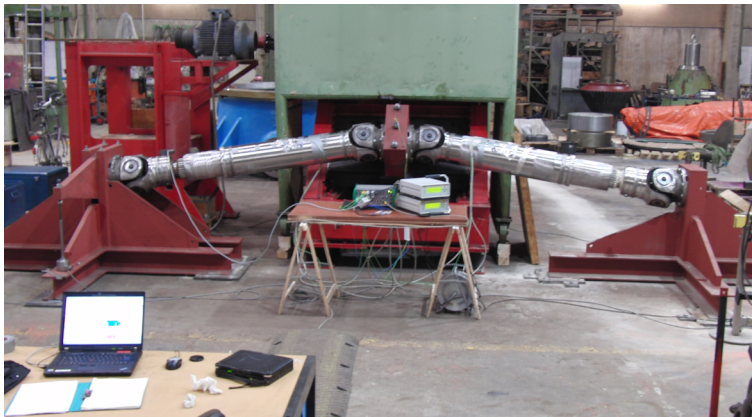


Bild 3: Prüfstand mit Versuchsteilen und Messtechnik

Die Untersuchungen zum Tieftemperaturverhalten der Oberflächenbeschichtungen in Kombination mit dem Schmierstoff unter stoßartigen Belastungen wurde im IMW in einer einfachen kühlbaren Klemmvorrichtung durchgeführt, die zusätzlich die Aufbringung stoßartiger Scherbelastungen erlaubt, so wie sie beim ruckartigen Verschieben im Längenausgleich unter hoher Drehmomentlast auftreten. Als Ergebnis dieser Probekörperuntersuchungen konnten die im Bauteilversuch positiv geprüften Materialkombinationen zusätzlich unter tiefen Temperaturen freigegeben werden.

Neben den klassischen Kreuzgelenken werden im IMW Gelenkwellen mit Gleichlaufgelenken oder Bogenzahnkupplungen in den unterschiedlichsten Größen experimentell und numerisch untersucht.