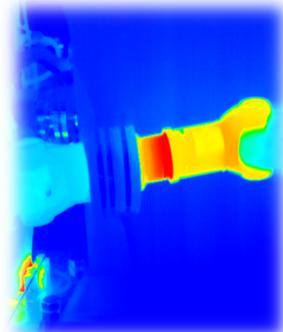


## Verlustmessung und Ermittlung von Reibungskennwerten an Kreuzgelenkwellen mit verzahntem Längenausgleich

Jakob, M.

*In diesem Jahr ging am IMW inzwischen ein siebter Verspannprüfstand in Betrieb, mit dem für einen Industriepartner erfolgreich Reibungskennwerte und Verluste an Kreuzgelenkwellen ermittelt wurden. Für einen Folgeauftrag mit höheren Drehmomenten bis 8 kNm wird der Prüfstand derzeit umgebaut.*



*A new torque test rig for cardan shafts was put into operation this year. The first measurements were carried out for an industrial partner to determine friction characteristics and losses. The measurements were performed successfully so that the test rig will be increased to a peak torque of 8 kNm.*

### Erster Einsatz für einen neuen Verspannprüfstand

Im Rahmen eines Industrieprojektes wurden am Institut für Maschinenwesen Messungen zur Bestimmung von Axialkräften und Verlusten an Kreuzgelenkwellen mit verzahntem Längenausgleich durchgeführt. Die aus den Versuchen ermittelten Kenngrößen, wie z. B. Reibkoeffizienten, werden für die Überprüfung eines Simulationsmodells des Industriepartners benötigt.

Das IMW verfügt durch langjährige Forschungstätigkeiten im Bereich der Gelenkwellen bereits über ein umfangreiches Portfolio an Prüfständen. Auch in diesem Jahr konnte mit der Inbetriebnahme eines siebten Verspannprüfstandes die Prüfkapazität erweitert werden. Der Prüfstand, der in Abbildung 1 dargestellt ist, wurde nach dem Prinzip eines geschlossenen Torsionsverspannkreises aufgebaut. Zwei Getriebe (1) mit gleicher Übersetzung sind über zwei Wellenstränge miteinander verbunden. Der vordere Wellenstrang wird je nach Vorhaben auf die Anforderungen und die Geometrien der Proben angepasst. Dieser besteht aus Drehmomentmessflanschen (2), zwei baugleichen Gelenkwellen (3) und einem aus der Mittellage schwenkbaren Mittelbock (4). Dadurch können konstante Beugewinkel an der Gelenkwelle von 0° bis zu 6° eingestellt werden. Alternativ kann der Mittelbock über eine Exzentrerscheibe dynamisch bei max. 1,4 Hz stufenweise (1 mm, 5 mm, 10 mm und 20 mm Auslenkungsamplitude des Längenausgleiches) geschwenkt werden. Der Zusammenhang zwischen Auslenkungsamplitude und Radius der Exzentrerscheibe (5) wird mittels kinematischer

Analyse berechnet. Ein an das linke Getriebe angebundener Elektromotor (6) sorgt für eine Drehbewegung der beiden Wellenstränge, wobei dieser nur die in den Lagerstellen entstehenden Reibmomente und Beschleunigungsmomente überwinden muss. Das eigentliche Torsionsmoment wird im hinteren Wellenstrang durch einen hydraulischen Verspannmotor (7) separat eingeleitet. Durch diesen Aufbau kann der Energieaufwand auf ca. 10 % der umlaufenden Prüfleistung reduziert werden.

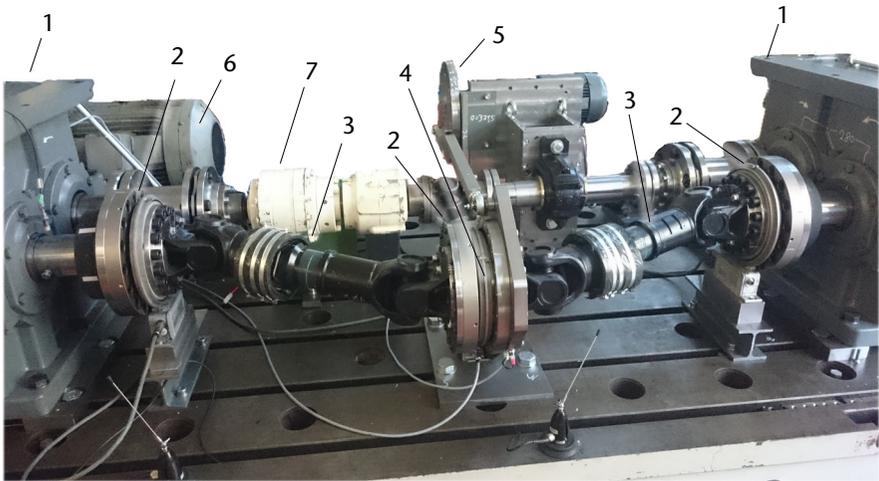


Abbildung 1: Aufbau des Verspannprüfstandes

## Messwerterfassung und Auswertung

In Abbildung 2 sind die Messstellen des vorderen Wellenstranges schematisch dargestellt. Zwei Drehmomentmessflansche an den Getriebeausgängen ermitteln das ein- bzw. ausgehende Drehmoment. Aus einem dritten Messflansch kann das Drehmoment am linken Rand des Mittelbockes ermittelt werden. Die Verlustleistung  $\Delta P_{l-v}$  des gesamten Wellenstranges ergibt sich aus der im Wellenstrang konstanten Drehzahl  $n$  und der Differenz der ein- und ausgeleiteten Drehmomente  $M$  zu:

$$\Delta P_{l-v} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot (M_l - M_v) \quad [W] \quad 1$$

Zusätzlich zu den Messflanschen I, III und IV wurden auf den Verbindungsrohren der Gelenkwellen Dehnungsmessstreifen (DMS) zur Bestimmung des Drehmomentes installiert. Über die Differenzbildung der verschiedenen Messstellen können in Anlehnung an Gleichung 1 die Verluste pro Verschiebesitz ( $P_{vS}$ ) und Kreuzgelenk ( $P_C$ ) sowie im Mittellager ( $P_l$ ) bestimmt werden.

Zur Bestimmung der Verschiebekräfte sind DMS-Vollbrücken auf dem Verbindungsrohr in axialer Richtung aufgeklebt. Der Abgleich der axialen DMS erfolgt mit dem am Institut verfügbaren kalibrierten Lastrahmen MTS 100 kN.

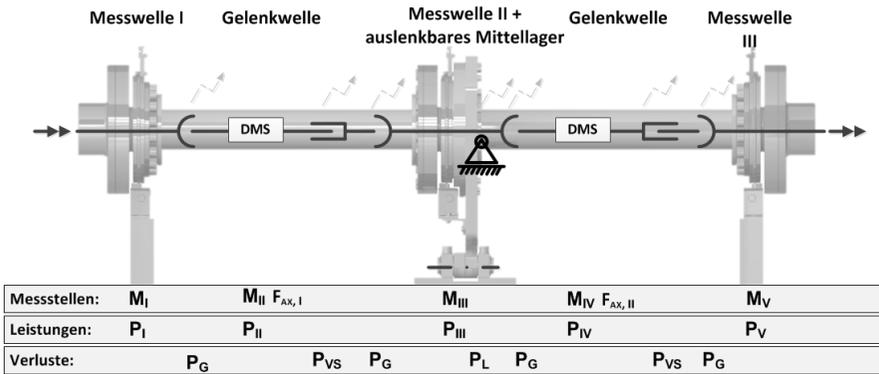


Abbildung 2: Schematischer Messstellenplan am vorderen Wellenstrang

## Ergebnisse

Das Verbindungsrohr, auf dem die DMS installiert sind, weist trotz Einhaltung der Gleichlaufbedingungen bei Z-Anordnung erwartungsgemäß eine ungleichförmige Drehbewegung auf, welche periodisch schwankende Drehzahlen und Drehmomente im Verbindungsrohr verursacht. Zusätzlich werden die Messsignale durch die Rotation der Wellen und durch die Auslenkungen des Mittelbocks überlagert. Mittels Signalfilterung werden die Mittelwerte der Messstellen in Abhängigkeit von der Drehzahl, der Auslenkung und des Torsionsmomentes bestimmt, um so erste Aussagen bezüglich auftretender Verluste beurteilen zu können.

## Leistungssteigerung durch Umbau

Die Messungen verliefen erfolgreich, sodass die Eignung der Messmethode zur Verlustmessung und Ermittlung von Reibungsverhalten nachgewiesen werden konnte. In einem Folgeauftrag sollen im ersten Quartal 2017 erneut Messungen mit denselben Messwellen unter höheren Torsionsmomenten durchgeführt werden. Dazu werden die elektrischen und hydraulischen Antriebe verstärkt. Mit diesem Umbau kann die Leistungsfähigkeit verdreifacht werden, wie der Tabelle 1 zu entnehmen ist.

## Zusammenfassung

Mit dem neuen Verspannprüfstand konnte die Prüfkapazität des IMWs in diesem Jahr weiter ausgebaut werden. Im ersten Messauftrag wurden Gelenkwellen mit verzahntem Längenausgleich bei variabler Torsion und Drehzahl dynamisch ausgelenkt. Mit Hilfe von Messflanschen und DMS wurden Drehmomente bestimmt, um so erstmalig Verluste an verschiedenen Positionen der Gelenkwelle zu bestimmen. Das entwickelte Messverfahren kann nun dazu genutzt werden, um Gelenkwellen hinsichtlich ihrer Leistungsverluste in dem Längenausgleich und den Gelenken weiter zu optimieren.

*Tabelle 1 : Prüfstandkennwerte des aktuellen und erweiterten Prüfstandes*

	<b>Aktueller Aufbau</b>	<b>Erweiterter Aufbau</b>
Antriebsleistung [kW]	37	90
Umlaufende Leistung [kW]	330	990
Anzahl der Proben [-]	2	2
Beugewinkel [°]	bis 6°	bis 6°
Verschiebefrequenz [Hz]	1,4	1,4
Einbaulänge [mm]	680	680
<b>Wellenstrang vorne:</b>		
Drehzahl [U/min]	900	1500
Drehmoment [Nm]	3500	6300
<b>Wellenstrang hinten:</b>		
Drehzahl [U/min]	712	1180
Drehmoment [Nm]	4400	8000