

Prüfstand zur Lebensdauerprüfung von Gelenkwellen

Birkholz, H.; Judith, M.; Tawil, M.

Die Gelenkwellen eines PKW sorgen für die Drehmomentübertragung mit Winkelversatz vom Getriebe an die Räder. Dabei entstehen Torsionsbeanspruchungen, die einen hohen Verschleiß in den Gelenken hervorrufen. Die Folge ist Leistungsverlust und schließlich Bauteilversagen. Am IMW ist ein Prüfstand aufgebaut, mit dem die Schädigung von Gelenken unter Betriebsbedingungen untersucht wird.

The joint shaft in a passenger vehicle transmits rotational moment with angular displacement from the transmission to the wheels. The resulting torsional loads cause a high degree of wear in the joints, which leads to loss in performance and component failure. At the Institute für Maschinwesen (IMW) a testing rig for investigating joint damage under operating conditions has been built.

1 Aufbau des Prüfstandes

Der Prüfstand (**Bild 1**) besteht hauptsächlich aus zwei Wellensträngen. Im vorderen Strang sind die Prüfgelenke (1) eingespannt. Hier können jeweils vier Gelenke gleichzeitig eingebaut und untersucht werden. Im hinteren Strang befindet sich ein hydraulischer Verspannmotor (2), dessen Aufgabe darin besteht, ein konstantes Torsionsmoment von 500 Nm zur Verfügung zu stellen. Zur Aufrechterhaltung des Torsionsmoments wird der Öldruck im Verspannmotor vom Hydraulikaggregat (3) nachgeregelt. Die beiden Stränge werden über zwei Getriebe (4) miteinander gekoppelt und bilden somit einen geschlossenen Torsionsverspannkreis. Das zum Ro-

tieren des gesamten Verspannkreises benötigte Antriebsmoment wird von einem E-Motor (5) über einen Riementrieb (6) zur Verfügung gestellt. Die Leistung des E-Motors beträgt 15 kW bei einer max. Drehzahl von 740 min^{-1} . Über einen Riementrieb wird eine Übersetzung realisiert, so daß die zu untersuchenden Gelenkwellen mit einer Drehzahl von etwa 300 min^{-1} rotieren. In der Mitte des vorderen Prüfstranges befindet sich das Mittellager (7), durch dessen Verschiebung der gewünschte Winkelversatz (Beugewinkel in der waagerechten Ebene) der Gelenkwellen eingestellt werden kann.

Die Überprüfung des Verschleißes in den Gelenken erfolgt indirekt über die berührungslose Messung der Gelenktemperatur während des Betriebes. Hierfür ist ein Infrarot-Sensor (8) auf einer linearen Verfahreinheit installiert. Die vom Sensor erfaßten Temperaturwerte werden mit einem Meßrechner gespeichert. Gesteuert wird der Prüfstand über eine SPS. Wird ein vorher festgelegter Temperaturwert über- bzw. unterschritten, so geht vom Rechner ein Signal an die SPS, die den Prüfstand abschaltet.

Die Umdrehungszahl, die der Parameter ist, der der

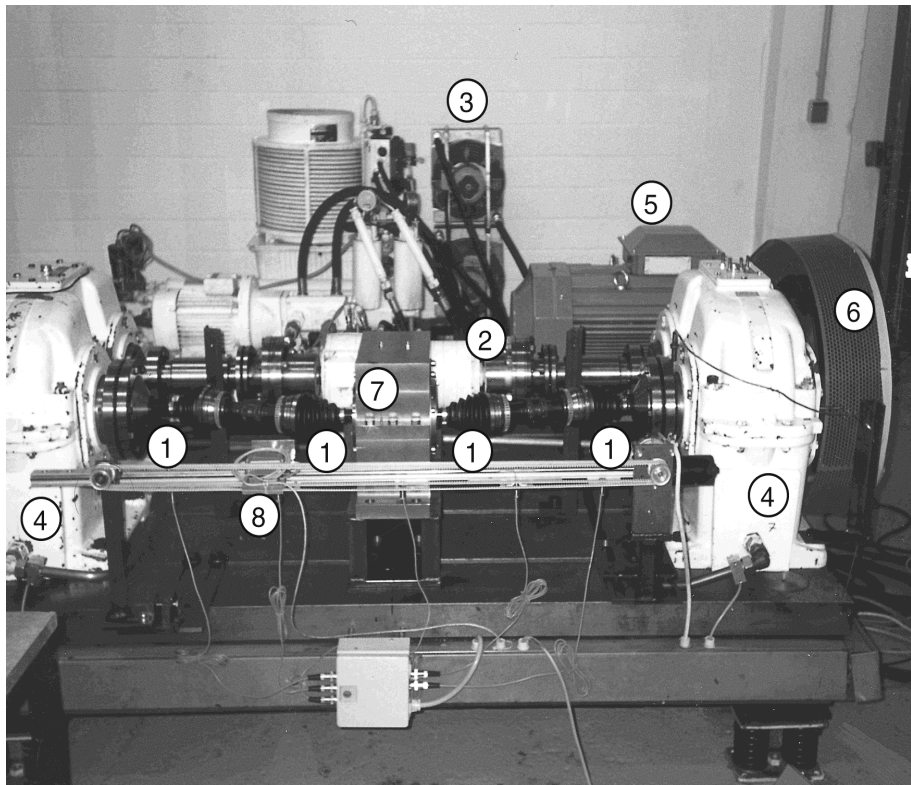


Bild 1: Gelenkwellenprüfstand

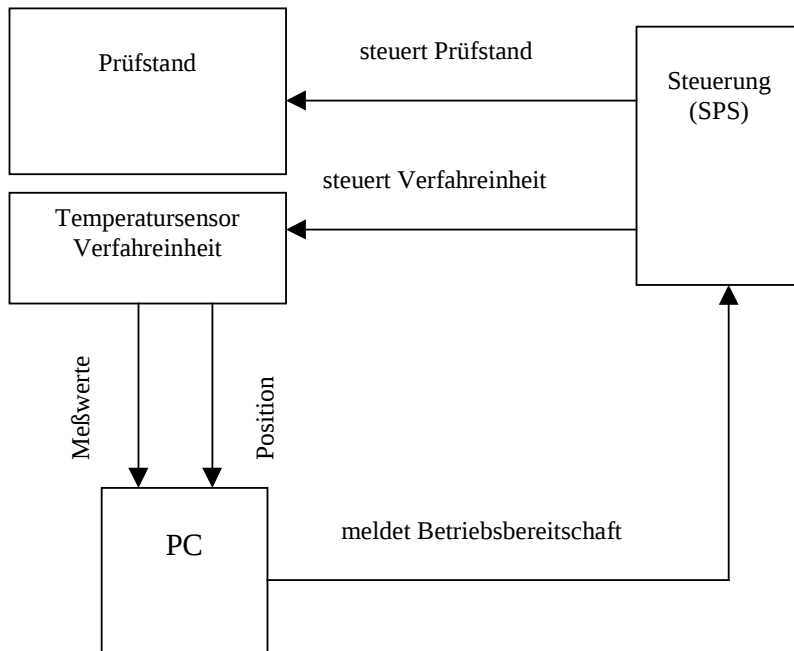


Bild 2: Konzept der Prüfstandssteuerung und Meßwerterfassung

Lebensdauer entspricht, wird mit Hilfe eines elektromagnetischen Pulsgebers ermittelt und gespeichert.

2 Meßwerterfassung

Um den Prüfstand zu überwachen und Versuchsauswertungen zu erstellen, werden die Temperaturen der Gelenkwellen erfaßt, da bei auftretenden Verschleißerscheinungen mit einem deutlichen Temperaturanstieg in den Gelenken zu rechnen ist. Der Temperaturanstieg setzt zu einem nicht genau vorherbestimmbaren Zeitpunkt ein, so daß eine kontinuierliche Messung notwendig ist. Die Rotation der Gelenkwellen läßt nicht zu, die Temperaturmessung direkt berührend durchzuführen, so daß auf ein berührungsloses Verfahren, beruhend auf einem speziellen Infrarot-Temperatursensor, zurückgegriffen wird.

Im Prüfstand befinden sich gleichzeitig immer vier Gelenkwellen, die erfaßt werden müssen. Als Alternative zur Verwendung von vier Sensoren wird im Aufbau ein einzelner Sensor verwendet, der regelmäßig die vier Meßpunkte an den Gelenken abfährt. Dies bietet den Vorteil, daß nur ein einziger Sensor kalibriert werden muß, und es so zu keinen Ungenauigkeiten durch verschiedene und ggf. leicht unterschiedlich kalibrierten Sensoren kommen kann.

Die Temperaturüberwachung, bestehend aus einem Temperatursensor und einer Verfahreinheit, ist eingebettet in das Gesamtsystem des Prüfstands (**Bild 2**). So werden die Meßwerte des Sensors

kombiniert mit einem Signal, das angibt, an welchem Meßpunkt er sich befindet, an den Meßrechner geleitet. Ist der PC ordnungsgemäß in Betrieb und befinden sich die gemessenen Temperaturen im zulässigen Bereich, so sendet der Meßrechner ein Betriebsbereitschaftssignal an die SPS-Steuerung, die sowohl den Prüfstand selbst als auch das Verfahren des Temperatursensors steuert. Liegt die gemessene Temperatur außerhalb des als zulässig am PC eingestellten Bereichs oder tritt ein Defekt an den Bestandteilen der beteiligten elektronischen Prüfstandseinrichtungen auf, so schaltet sich der Prüfstand selbsttätig ab.

Der Temperatursensor (**Bild 3**) registriert die Infrarotstrahlung, die die Objekte in seinem Erfassungsfeld abstrahlen. Die Linse des verwendeten Sensors hat einen Öffnungswinkel von 1 : 10, was bedeutet, daß im Abstand 300 mm, der in etwa dem zwischen Sensor und Gelenkwelle entspricht, die mittlere Temperatur einer Kreisfläche mit Durchmesser 30 mm erfaßt wird. Diese Fläche ist wesentlich kleiner als die zur Verfügung stehende und zu messende Oberfläche der Gelenke, so daß keine Objekte aus der Umgebung mit erfaßt werden, die das Meßergebnis verfälschen könnten. Das Abstrahlverhalten von Objekten ist wesentlich abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche.

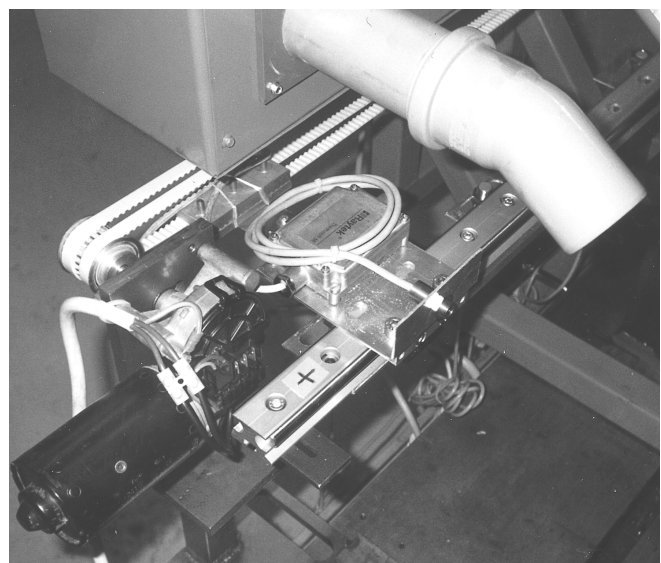


Bild 3: Temperatursensor

Um normierte Verhältnisse sicherzustellen, werden vor der Messung alle relevanten Flächen der Gelenke mit schwarzer Farbe eingesprüht. Während der Messung liefert der Temperatursensor dann kontinuierlich eine Spannung, die eine Funktion der Temperatur ist. Durch eine Kalibrierung des Sensors, dessen Meßwerte dabei mit berührend gemessenen Temperaturwerten abgeglichen werden, hat sich eine

Kalibrationskurve zur Umrechnung von Spannungsin Temperaturwerten ergeben. Die so interpretierbaren Spannungswerte gelangen über eine Meßwerterfassungskarte zum PC und stehen dort dem Meßwerterfassungsprogramm DASYLab[®] zur Verfügung. Das analoge Signal wird mehrmals pro Sekunde abgetastet. Um der so entstehende Datenflut Herr zu werden und um eine etwaige ungleichförmige Temperaturverteilung auf dem Umfang der Gelenkwelle zu berücksichtigen, ist in DASYLab[®] eine Mittelwertbildung programmiert. Erreicht der Temperatursensor eine neue Meßposition, so verweilt er eine bestimmte Zeit, bis dann der aktuelle Mittelwert angezeigt und in eine Meßwertdatei gespeichert wird. Für jedes Gelenk befindet sich eine Anzeige auf dem Bildschirm und für jedes Gelenk werden die Werte in eine separate Datei geschrieben. Somit ist eine direkte Betrachtung des Zustands der Gelenkwellen als auch eine spätere Auswertung der Meßwertdateien möglich. Die Zeit, die zwischen der Aufnahmen von zwei Meßwerten eines Gelenks vergeht, beträgt etwa drei Minuten, in denen die Temperaturen der anderen Gelenke erfaßt werden.

Schaltet sich der Prüfstand aufgrund der voreingestellten Bedingungen automatisch ab, so stoppt das Meßwerterfassungsprogramm zu diesem Zeitpunkt und die aktuell vorhandenen Anzeigewerte bleiben erhalten. Es kann dann mit der genauen Uhrzeit des Abschaltens, die zusätzlich mit festgehalten

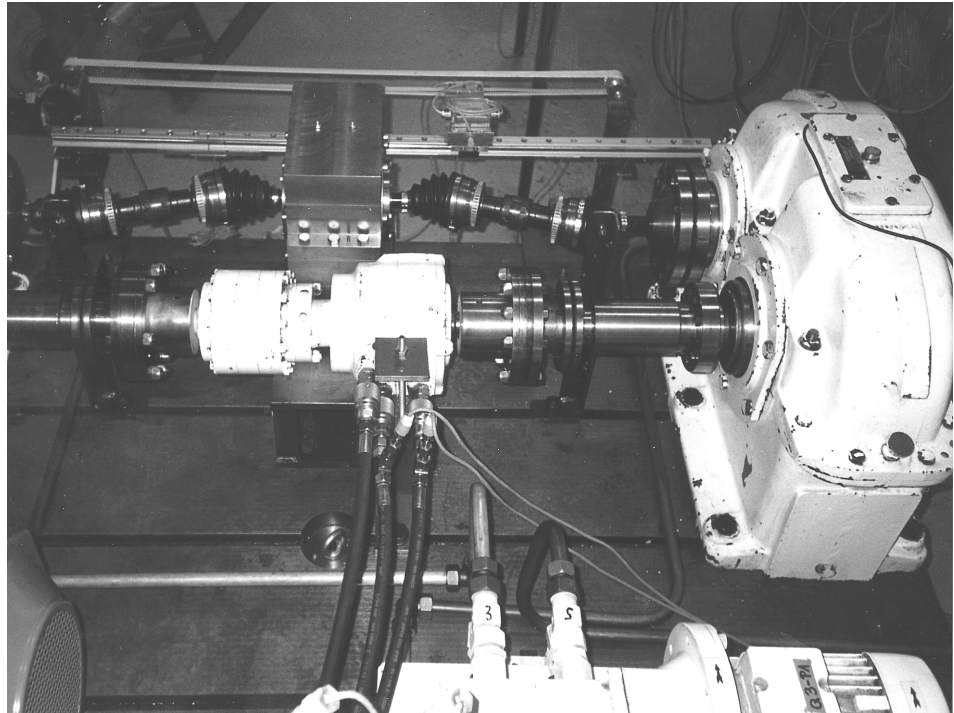


Bild 4: Prüfstand (Ansicht von hinten)

wird, rekonstruiert werden, an welcher Meßstelle der vorgegebene Temperaturbereich verlassen worden ist.

Die Gelenkwellen werden durch ein Moment mit einer vorgegebener Größe verspannt. Um sicherzustellen, daß die Gelenkwellen auch tatsächlich die geforderte Belastung erfahren, ist auf dem Gelenkwellenstrang ein Dehnungsmeßstreifen (DMS) aufgeklebt. Da das Moment im Betrieb bestimmt werden muß, wird eine Telemetrieanlage verwendet. Der DMS ist mit einem sich ebenfalls auf der Welle befindlichen Sender und einer Batterie verbunden. Vom Sender aus werden die Meßsignale berührungslos über Funk an einen Empfänger weitergeleitet, der an ein Auswertegerät mit Anzeige angeschlossen ist.

Die Kalibration des Dehnungsmeßstreifens und der Auswertelektronik erfolgt über den Abgleich mit einer gleichzeitig für die Dauer der Kalibrierung in den Wellenstrang eingebauten hochpräzisen Drehmomentenmeßwelle.

3 Inbetriebnahme

Vor dem Einbau der Prüflinge wurde zunächst eine Überprüfung des aufzubringenden Drehmomentes durchgeführt. Dazu wurde eine Drehmomentmeßwelle der Firma Hottinger-Baldwin-Meßtechnik GmbH (HBM) in den Verspannkreis eingesetzt und

dieser mittels Distanzstücken geschlossen. Anschließend wurde der Öldruck in gleichmäßigen Schritten bis zum Maximum erhöht und wieder abgesenkt. Das durch den hydraulischen Verspannmotor aufgebrachte Drehmoment wurde mit Hilfe der Drehmomentmeßwelle aufgenommen und eine Öldruck-Drehmoment-Kurve erstellt. Eine Überprüfung bei laufendem Antriebsstrang ergab, daß das Moment nicht mit dem Stillstandsmoment übereinstimmte, sondern die Werte leicht unter die Werte für das Stillstandsmoment abfielen.

Nach dem Ausbau der Drehmomentmeßwelle und dem Einbau der Prüflinge wurden das Moment sowie der Auslenkungswinkel auf den geforderten Wert eingestellt und der Prüfstand gestartet. Dabei wurde die Drehmomentdifferenz zwischen Stillstand und Lauf berücksichtigt. Auf eine laufende Überprüfung des Drehmomentes im Verspannkreis ist zunächst verzichtet worden, da der am Verspannmotor anliegende Öldruck überwacht und als ausreichendes Kontrollmittel angesehen wurde.

Es konnte beobachtet werden, daß sich die Gelenkwellen auf ein bestimmtes Temperaturniveau erwärmten, die Temperatur blieb danach vorerst konstant. Nach einiger Zeit konnte jedoch ein Abfallen der Temperatur auf einen Wert nahe RT beobachtet werden. Zusätzlich fiel auf, daß die Laufleistung der Gelenkwellen erheblich höher lag, als erwartet. Dies legte den Schluß nahe, daß die Belastung im Verspannkreis keinen konstanten Wert einhielt.

Nach dem Stoppen des Prüfstandes wurde die Drehmomentmeßwelle wieder eingesetzt und der Öldruck auf den notwendigen Wert eingestellt. Danach wurde die Förderrichtung umgestellt. Dabei konnte beobachtet werden, daß die im Verspannkreis eingesetzten Spannelemente durchrutschten. Nach dem Durchrutschen fuhr der Verspannmotor gegen seine mechanische Begrenzung, so daß trotz nominell richtigen Öldrucks kein Nennmoment mehr anlag, die Gelenkwellen folglich mit sehr viel geringerer Belastung rotierten.

Das Durchrutschen der Spannelemente konnte auf Montagefehler zurückgeführt werden. Nach gründlicher Reinigung der Kontaktflächen von Wellen und Naben wurden die Spannelemente wieder eingesetzt und vorschriftsmäßig angezogen. Zusätzlich wurde zur Drehmomentüberwachung die bereits beschriebene Drehmomentmeßbrücke mit Telemetrieübertragung in den Verspannstrang integriert. Damit ist eine Überwachung des an den Gelenk-

wellen anliegenden Drehmomentes jederzeit möglich.

4 Ausblick

Nach der Wiederinbetriebnahme des Prüfstandes stellten sich praxisnahe Werte für die Temperatur an den Gelenkwellen ein. Eine ständige Überprüfung des Drehmomentes gewährleistet die richtige Belastung der Prüflinge. Die Versuche zur Ermittlung der Lebensdauer laufen derzeit noch.