

Drehmomentmessung an einer Gelenkwelle im Antriebsstrang

Lohrengel, A.; Schäfer, G.; Rolshofen, W.

Zur Leistungsübertragung zwischen Motor und Getriebe kann aufgrund der Einbausituation eine Gelenkwelle verwendet werden. Um die tatsächlichen Betriebsbelastungen festzustellen, sind daher das Drehmoment, das Biegemoment sowie die axiale Belastung gemessen worden. Mit den Ergebnissen kann die Auslegung des Antriebsstrangs verbessert werden.



Due to the installation situation, cardan shafts can be used to transmit the power between motor drive and gear box. To verify the real stresses and strains, torque and bending moment as well as axial forces are measured. With these results design and dimensioning of the power train can be enhanced.

1 Einleitung

Im Kali- und Salzbergbau werden zur Beförderung des Gutes zwischen Abbau- und Kippstelle Fahrlader eingesetzt. Es handelt sich um Spezialfahrzeuge, die für den Einsatz in engen Räumen und niedrigen Höhen konzipiert sind. Die *K+S Aktiengesellschaft (K+S)* setzt z.B. an unterschiedlichen Standorten Fahrlader der *GHH Fahrzeuge GmbH (GHH)* mit luft- und wassergekühltem Dieselantrieb sowie Elektrolader ein. Die technischen Daten für den Typ LF-17/21, der Gegenstand der Untersuchungen war, sind laut Herstellerangaben in **Tabelle 1** angegeben.

Um einen Eindruck von den Dimensionen und dem Aussehen dieses Fahrladertyps zu erhalten, ist ein solcher in **Bild 1** dargestellt.

Die Leistungsübertragung zwischen Motor und Getriebe findet durch ein Mehrfachkreuzgelenkgetriebe statt, was den Antriebsstrang besser den räumlichen Gegebenheiten anpasst (s. /1/,/2/ bzw. entsprechende Literatur der Hersteller).

Im vorliegenden Fahrzeug muss der Höhenunterschied zwischen dem Ausgangsflansch des Wandlers und dem Eingangsflansch des Getriebes ausgeglichen werden; zusätzlich behindert die Hinterachse die di-

rechte Verbindung beider Elemente. Die bestehende Fahrzeugkonstruktion sieht daher eine „lange“ Gelenkwelle zwischen Wandler und Zwischenlagerbock sowie eine „kurze“ Gelenkwelle zwischen Lagerbock und Getriebe vor (s. **Bild 2**).

Abmessungen:	Komponenten:	Optionen:
Nutzlast: 17 – 21t	Motor: Deutz BF8M1015C wassergekühlt, 320 KW	
Schaufelvolumen: 9.5 – 12.9m ³	Getriebe: Dana Serie 8.000	HRD Feuerlöschanlage
Länge: 12.491mm	Achsen: Kessler D112	Zentralschmieranlage
Breite: 3.700mm	Reifen: 35/65 – R33	Geschlossene Kabine
Höhe: 2.875mm	LCB Bremsen	Klimaanlage
Leergewicht: 58.500 kg	Vierrad Antrieb	Auspuffklappenbremse
Zugkraft: 413 kN		CANBUS Steuerung

Tabelle 1: Herstellerangaben der technischen Daten für Fahrlader Typ LF-17/21 /3/

2 Untersuchung des Betriebsverhaltens

Um im Untertagebetrieb auftretende Belastungen der Gelenkwellen einzelner Fahrlader zu beobachten, sollte auf Wunsch des Betreibers *K+S* eine Betriebsmessung in Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller *GHH* durchgeführt werden.

Für die Messung der Belastungsparameter wurde ein neu in Betrieb genommener Fahrlader am Standort Zielitz ausgewählt. Die Gelenk-

wellen-Ausrüstung des LF-17/21 sollte durch das Messverfahren möglichst unbeeinflusst bleiben.



Bild 1: GHH Fahrlader des Typs LF-17/21 am Standort Zielitz /4/

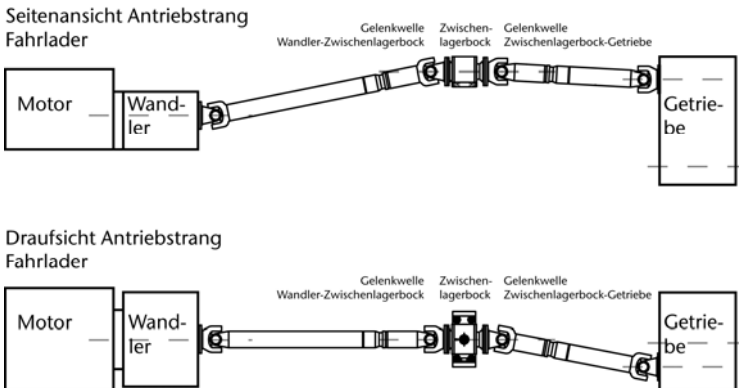


Bild 2: Wesentliche Elemente des Antriebstranges bestehend aus wassergekühltem Motor, Drehmomentwandler, den beiden Gelenkwellen mit Zwischenlagerbock und dem Lastschaltgetriebe

Aus diesem Grund erfolgte die Drehmomenterfassung über eine baugleiche Gelenkwelle, welche durch Applikation entsprechender Sensoren zu einer Messwelle wurde. Hierzu sind Dehnungsmessstreifen (DMS) in Vollbrückenschaltung aufgeklebt worden, deren Signale über ein Telemetrie-System erfasst wurden.

Einen Eindruck von dieser Messwelle vermittelt **Bild 3**. Darin ist ebenfalls ein Ring aus Aluminium abgebildet, der einen Sender für die telemetrische Übertragung und Batterien für die Speisespannung der Messbrücken enthält. Der gesamte Aufbau ist anschließend zum Schutz gegen Verschmutzung durch einen Mantel aus Kunststoff umhüllt worden und die Gelenkwelle wurde dann erneut gewuchtet.

Außerdem ist eine Kalibrierung der Messsignale durchgeführt worden, indem die Gelenkwelle in einen Prüfstand eingebaut wurde. Dabei ist z.B. das Spannungssignal der Torsionssensoren mit einer Drehmomentmesswelle abgeglichen worden.



Bild 3: Gelenkwelle mit applizierten DMS zur Messung von Drehmoment, Biegemoment und Axialkraft. Außerdem ist ein Ring zu erkennen, der den Telemetriesender sowie die Spannungsquellen für die Sensorversorgung aufnimmt.

Neben dem Drehmoment, welches redundant aufgezeichnet wurde und mit T1 bzw. T2 bezeichnet wird, ist sowohl das Biegemoment (M_b) als auch die Axialkraft (F_{ax}) gemessen worden. Außerdem ist an unterschiedlichen Stellen des Antriebsstranges das Schwingungssignal mit Beschleunigungsaufnehmer bestimmt worden, deren Ergebnisse an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Dies gilt ebenfalls für die simultan erfassten Fahrzeugsignale (z.B. Motor- bzw. Wand-

lerdrehzahl), die direkt aus den Steuersignalen des Fahrzeugs durch das CAN-Bus System aufgezeichnet wurden. Exemplarisch ist die Anordnung der Sensoren in **Bild 4** zu erkennen.

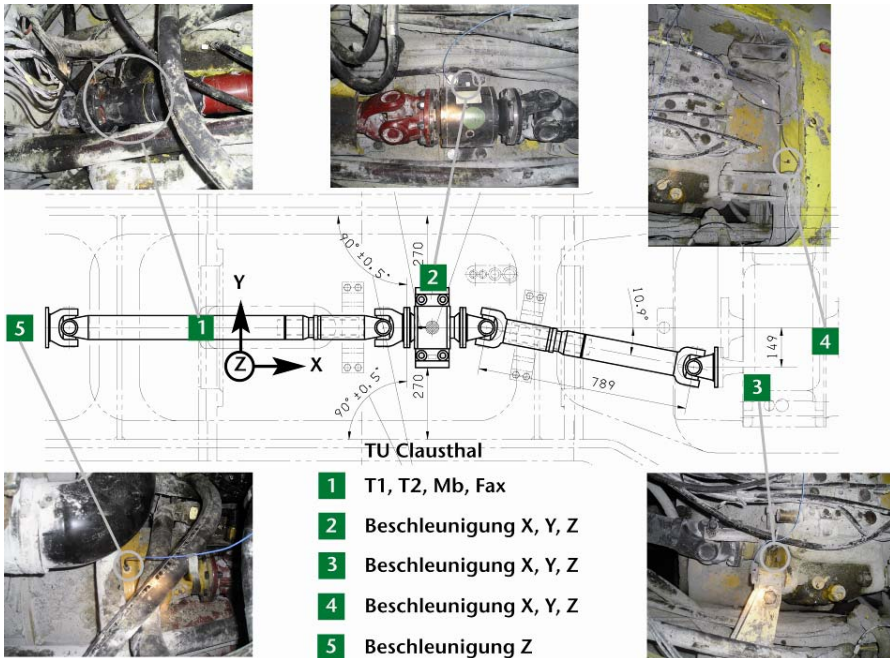


Bild 4: In der Draufsicht des Antriebsstranges ist die Anordnung der verwendeten Sensoren sowie ein entsprechender Bildausschnitt aus dem Fahrerlader dargestellt.

3 Messsignale des Drehmomentes

Das Messsystem und die sonstigen Einbauten wurden so eingerichtet, dass ein normaler Betriebseinsatz des Fahrzeuges gewährleistet war. Erwähnt sei, dass weder der Revierleitung noch dem Fahrer Vorgaben zu den Einsatzbedingungen gemacht wurden. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgte, sobald die Bordspannung des Fahrzeuges eingeschaltet wurde.

In **Bild 5** ist das gemessene Drehmoment eines beliebig ausgewählten Messdatensatzes über einen Zeitraum von 30 Minuten dargestellt. Aufgetragen ist dabei ein normalisiertes Drehmoment bezogen auf den Maximalwert, das periodische Drehmomentspitzen zeigt.

Zur besseren Verdeutlichung ist der Abschnitt zwischen 22:50 Uhr bis 22:55 Uhr markiert und in **Bild 6** vergrößert angegeben. Dort sind wiederum zwei Spitzenereignisse zu beobachten, wovon das Zweite, welches ebenfalls markiert ist, erneut vergrößert betrachtet werden soll (s. **Bild 7**). Durch diese Vergrößerung ist eindeutig, dass es sich bei diesen Spitzenereignissen um ein Wechseldrehmoment handelt.

Es ließ sich durch einen Vergleich mit anderen Datensätzen feststellen, dass die willkürlich ausgewählten Zeitabschnitte der Messsignale nicht die absoluten Spitzenwerte darstellen, doch dass diese aufgrund ihrer Periodizität repräsentativ für einen Betriebszustand sind.

Somit konnte die tatsächliche Belastung der Gelenkwelle im Betrieb ermittelt werden, die sich insbesondere mit ihrer Dynamik nicht im errechneten Drehmomentverlauf durch die jeweilige Wandlerdrehzahl ermitteln lässt.

Zur weiteren Optimierung des Antriebstranges könnten nun Lastkollektive aus der Betriebsmessung für den Testbetrieb auf einem Prüfstand für Gelenkwellenuntersuchungen /5/ vorgegeben werden, die dann nachgefahren werden.

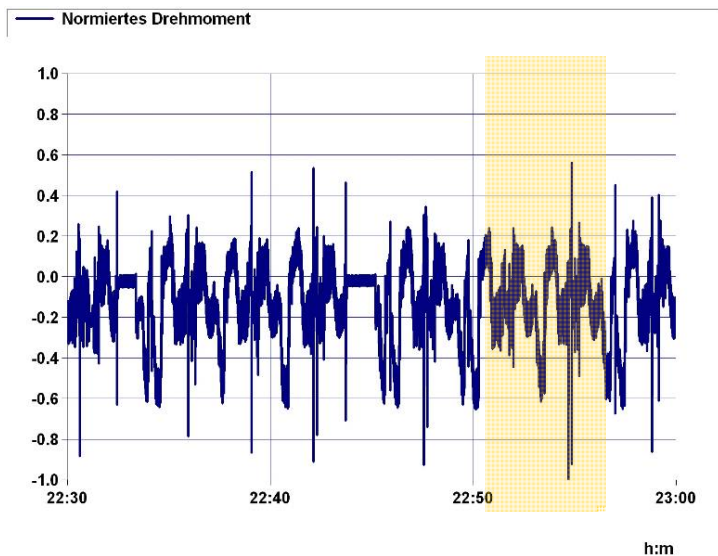


Bild 5: Halbstündlicher Ausschnitt des gemessenen Drehmoments an der Gelenkwelle während des Produktionsbetriebes, welches normalisiert aufgetragen ist.

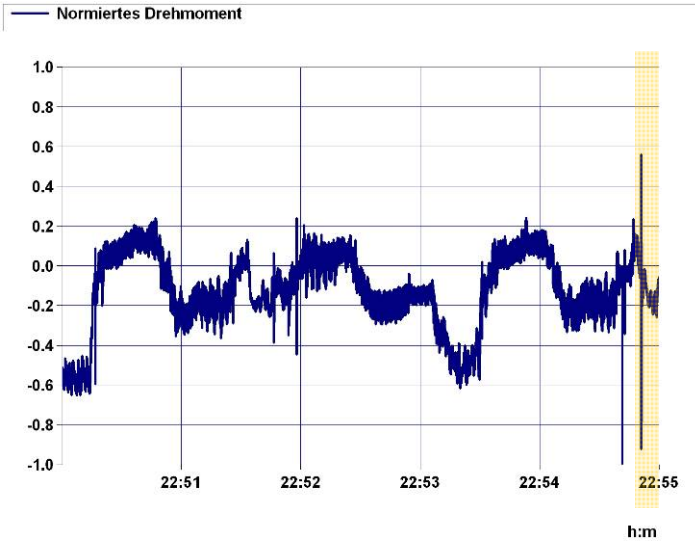


Bild 6: Fünf Minuten Ausschnitt des gemessenen Drehmoments an der Gelenkwelle während des Produktionsbetriebes; (s. Bild 5)

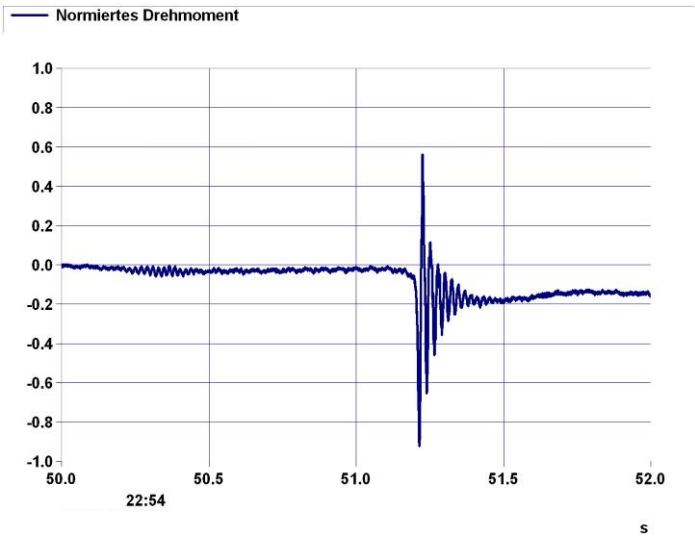


Bild 7: Vergrößerung der Drehmomentspitze in dem gemessenen Drehmoment an der Gelenkwelle während des Produktionsbetriebes (s. Bild 5 und Bild 6)

4 Zusammenfassung

Da es sich bei Fahrladern, die im Bergbau eingesetzt werden, um Sondermaschinen handelt, sind im Rahmen von Optimierungsmaßnahmen Drehmomentmessungen an Gelenkwellen im Betrieb durchgeführt worden. Um die Einbausituation im Fahrzeug nicht zu verändern, ist eine übliche Gelenkwelle mit DMS beklebt worden, deren Signale mit einem Telemetriesystem übertragen wurden. In den Messsignalen wurden periodisch auftretende Ereignisse beobachtet, welche einer Betriebssituation zugeordnet werden konnten. Diese Ergebnisse ermöglichen eine verbesserte Auslegung des Antriebstrangs.

5 Danksagung

Die Untersuchung war nur durch die erfolgreiche Zusammenarbeit mit der *K+S Aktiengesellschaft* und der *GHH Fahrzeuge GmbH* möglich. Besonderer Dank gilt an dieser Stelle den Mitarbeitern der *K+S KALI GmbH* am Standort Zielitz.

6 Literatur

- /1/ VDI-Richtlinie 2227: Gelenkwellen und Gelenkwellenstränge mit Kreuzgelenken - Einbaubedingungen für Homokinematik, VDI 2009, ICS: 21.120.10
- /2/ Seherr-Thoss, Hans-Christoph, Schmelz, Friedrich, Aucktor, E-rich: Gelenke und Gelenkwellen, 2. erweiterte Aufl., 2002, Springer Verlag, ISBN: 978-3-540-41759-0
- /3/ GHH Fahrzeuge GmbH: LHD Fahrlader LF-17/21, Technische Daten, www.ghh-fahrzeuge.de
- /4/ K+S Aktiengesellschaft: Pressefoto - Fahrlader des Typs LF 18 D3 am Standort Zielitz, www.k-plus-s.com
- /5/ Institut für Maschinenwesen: Verspannprüfstände für Gelenkwellen unterschiedlicher Baugrößen, www.imw.tu-clausthal.de