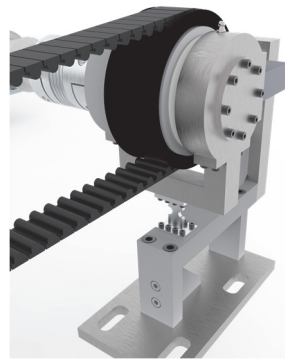


Konstruktive Optimierung des Freilauf-Doppelprüfstandes

Duchâteau, F.; Lohrengel, A.

Die Lebensdauer von Freiläufen unter reiner Torsionsbelastung kann von Anwendern und Herstellern realistisch abgeschätzt werden. Die in der Praxis häufig auftretenden parasitären Zusatzlasten führen zu einem verfrühten Ausfall des Freilaufs, da diese in der Auslegung bisher nicht genau berücksichtigt werden können. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens soll diese Auslegungsgrundlage geschaffen werden. Der bereits bestehende Prüfstand zum Aufbringen und Messen von Radiallasten an Freiläufen soll für die weitere Forschung konstruktiv angepasst werden. Primär wird hierfür die Prüflingsaufnahme umgestaltet, um einen zentralen Prüfraum mit direkter Messaufnahme zu schaffen.



The lifespan of Freewheels due to solely torsional load can be estimated realistically by the user as well as the manufacturer. In practice the torsional loads are overlaid with additional loads, resulting from radial forces or tilted tracks, which causes a premature failure. Until today, the resulting reduction of lifespan cannot be predicted precise. A design basis is to be created as part of a research project for these circumstances. The design of the existing test rig for applying and measuring radial loads on freewheels is to be adapted for further research. Primarily, the test piece fixture will be redesigned to create a central test area with direct measurement fixture.

Einleitung

Ein Freilauf wird im industriellen Umfeld für die Aufgabe der richtungsabhängigen Drehmomentübertragung eingesetzt. Unterschieden wird dabei in Klemmrollenfreiläufe in Klemmkörperfreiläufe. Bei Klemmrollenfreiläufen wird die Klemmwirkung durch eine spezielle Rampengeometrie im Innen- oder Außenring ermöglicht. Die Klemmkörperfreiläufe besitzen einen zylindrisch ausgeführten Innen- und Außenring, wobei die Klemmwirkung durch die spezielle Form der Klemmkörper erzeugt wird. Eine Dimensionierung dieser Freilaufarten unter Belastung durch das regulär wirkende Sperrmoment ist nach heutigem Stand treffsicher möglich. Die Auslegung hinsichtlich einer definierten Belastung und der Lebensdauer erfolgt mit Berechnungsprogrammen wie z. B. JFRED, die als Ergebnis aus mehreren Forschungsvorhaben der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) entwickelt wurden. Häufig lassen sich in der praktischen Anwendung aus konstruktiven oder wirtschaftlichen Gründen zusätzliche parasitäre Belastungen im Freilauf nicht vermeiden. Eine Zusatzlast (in Form radialer Kräfte oder Verkipfung der Laufbahn)

bewirkt eine über den Umfang und ggf. der Breite des Freilaufs ungleichmäßige Belastungsverteilung der beteiligten Freilaufkomponenten, sodass einige Klemmkontakte im Freilauf öfter und stärker belastet werden als andere. Dies hat zur Folge, dass es zu einer Abweichung zwischen der Anzahl an tatsächlichen Schaltzyklen und der Anzahl der erfassten Lastwechsel bei Spitzenbelastung kommen kann. Diese Tatsache führt zu einer signifikanten Lebensdauerverkürzung bei Freiläufen unter Zusatzlast im Vergleich zu Freiläufen ohne den Einfluss parasitärer Lasten. Da der Einfluss einer Zusatzlast auf die Lebensdauer noch nicht eindeutig bestimmt werden kann, besteht weiterer Forschungsbedarf. Die genannte Lebensdauerverkürzung durch radial wirkende Zusatzlasten wurde in einem Vorgängervorhaben für Klemmrollenfreiläufe mit Kreisbogenrampe bereits untersucht und kann in Ansätzen in der Freilaufauslegung berücksichtigt werden. In einem weiteren Forschungsprojekt soll der bestehende Ansatz weiter optimiert und verbessert werden. Die Auslegungsgrundlage für Klemmrollenfreiläufe mit Kreisbogenrampe soll im aktuellen Vorhaben auch auf Klemmrollenfreiläufe mit ebener Klemmrampe und auf Klemmkörperfreiläufe übertragen werden. Für die Erreichung des Forschungsziels werden neben Simulationen am Institut für Antriebs- und Fahrzeugtechnik (iaf) der Universität Kassel eine Vielzahl an Versuchen am IMW durchgeführt. Am IMW besteht bereits aus dem Vorgängervorhaben ein aufgebauter Prüfstand für die Untersuchung des Einflusses einer radialen Zusatzlast auf Freiläufe. Für das aktuelle Vorhaben mit unterschiedlichen Freilaufotypen und -geometrien ist eine Anpassung des Prüfstands notwendig.

Aufbau des Freilauf-Doppelprüfstands

Für die experimentelle Untersuchung der Lebensdauer von Freiläufen steht am IMW unter anderem der in Abbildung 1 gezeigte Prüfstand zur Verfügung, mit dem unterschiedliche Prüfbedingungen realisiert werden können. Der bisherige Versuchsaufbau wurde im Rahmen des FVA-Projektes 694 – Freilauf kombinierte Lasten entwickelt und realisiert. Der Prüfstand ist symmetrisch aufgebaut, sodass zeitgleich zwei Prüflinge getestet werden können. Der konstruktive Aufbau des Prüfstands eignet sich für die Untersuchung des Einflusses der radialen Zusatzlast auf die Freilauflebensdauer. Der konzeptionelle Aufbau wurde bereits in /1/ vorgestellt. Durch die symmetrische Anordnung können parallel zwei Freiläufe geprüft werden. Die Innenringe der Freiläufe werden unter Vorgabe der Amplitude und der Frequenz oszillierend entweder in Klemm- oder Freilaufstellung geschaltet. Die Freiläufe sind dabei entgegengesetzt zueinander einzubauen, sodass jeweils ein Freilauf klemmt, während der andere freiläuft. Die Außenringe der Freiläufe sind in eine Trägernabe montiert, die wiederum mit einem verstärkten Riementrieb verbunden ist. Über den Riementrieb wird eine konstante, umlaufende Drehbewegung des Außenrings realisiert, sodass ein Entsperrn der Prüflinge in Freilaufstellung garantiert werden kann. Die Höhe der Radiallast wird über die jeweilige Spannrolle des entsprechenden Riementriebs mittels pneumatischer

Muskeln (siehe in Abbildung 1 Radiallasteinheit) aufgebracht. Die Zusatzlast kann individuell für beide Prüfseiten eingestellt werden.

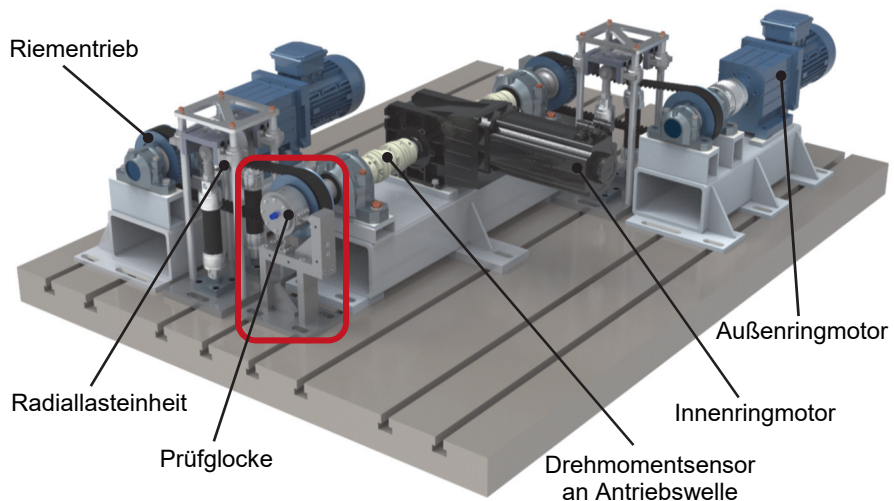


Abbildung 1: Konzeptioneller Aufbau des bisherigen Freilauf-Doppelprüfstands /2/

Im Versuchsbetrieb werden das Drehmoment sowie die wirkende radiale Zusatzlast am Prüfling aufgezeichnet. Der Verdrehwinkel wird mittels eines Drehwinkelgebers an der Innenwelle erfasst. Beschleunigungssensoren detektieren einen auftretenden Schaden im Freilauf. Weitere Abschaltkriterien, wie Winkelgrenzen, sind in der Steuerung hinterlegt. Der bisherige Prüfaufbau ist auf die Verwendung von dem im Vorhaben FVA 694 I untersuchten Klemmrollenfreilauf mit Kreisbogenrampe ausgerichtet. Im Rahmen des FVA-Folgevorhabens 694 II – Freilauf kombinierte Lasten 2 sind drei unterschiedliche Freilaufgeometrien an dem Freilauf-Doppelprüfstand zu untersuchen. Hierfür soll eine Anpassung der Prüflingsaufnahme (siehe rot markierten Bereich in Abbildung 1) zu einer erhöhten Flexibilität hinsichtlich der unterschiedlichen Freilaufausführungen führen.

Neukonstruktion der Prüflingsaufnahme

Die Anpassung des Prüfstands wird an der Freilaufaufnahme mit der dazugehörigen Messtechnik vorgenommen. Bei der konstruktiven Anpassung der Prüfglocke wird auf den Erhalt der Vergleichbarkeit zu bisherigen Versuchen geachtet, sodass die grundlegenden Funktionsprinzipien unverändert gelten. Der bisher verwendete Aufbau ist auf genau einen Prüfling ausgelegt. Die Innenwelle und die hohle Außenwelle zur Aufnahme des Prüflings sind bisher einseitig über einen Lagerbock fest über das Maschinenbett gelagert, auf der anderen Seite befindet sich an einer einseitig montierten Prüfglocke die DMS-Messeinrichtung. Über die DMS-Messung wird die auf den Freilauf wirkende Radiallast erfasst und überwacht. Mehr Flexibilität

bietet eine Lösung mit einer leicht austauschbaren Prüflingsaufnahme, die vom restlichen Prüfaufbau losgelöst gehandhabt werden kann. Die neu konstruierte Prüfeinheit ist in Abbildung 2 gezeigt.

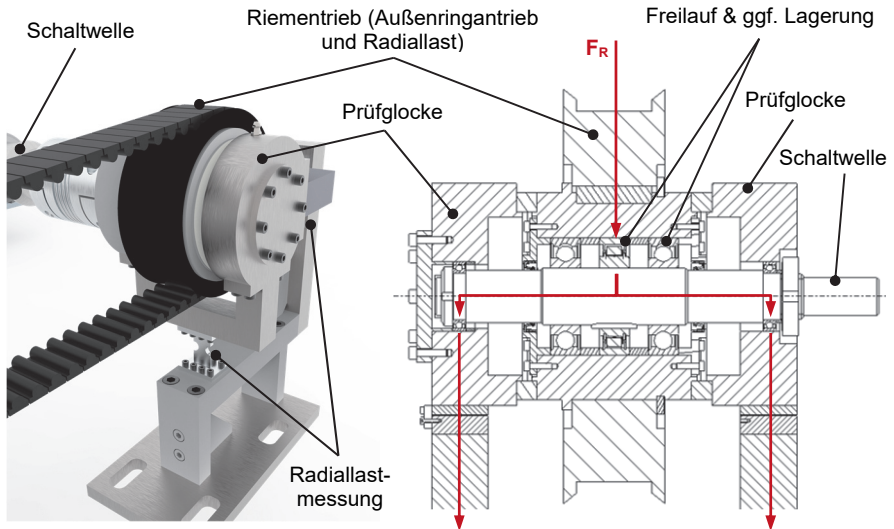


Abbildung 2: Zeichnung der überarbeiteten und entkoppelten Prüfeinheit

Die neue Prüflingsaufnahme verfügt über dasselbe Funktionsprinzip, wie der bisherige Aufbau. Die Trägernabe (und damit der Außenring des Freilaufs) wird über einen kontinuierlich rotierenden Riementrieb angetrieben, über den auch weiterhin die Radiallast eingeleitet wird. Die Welle zur Aufnahme der Freilaufinnenringe wird mittels einer Ausgleichskupplung an die oszillierende Schaltwelle angeschlossen. Die Messung der Radiallast erfolgt analog zum vorherigen Aufbau mittels DMS-Messung. Über die rechtwinklige Anordnung der DMS-Messeinheiten ist die vektorielle Richtung der Radiallast bestimmbar, siehe Abbildung 2 links. Durch das unveränderte Messprinzip bleibt die Vergleichbarkeit zu vorherigen Versuchsergebnissen erhalten. In die symmetrisch aufgebaute Prüfeinheit wird der Prüfling mit ggf. notwendigen weiteren Stützlagern vormontiert und anschließend im restlichen Prüfstand eingebaut. Der prinzipielle Aufbau der Prüfeinheit ist in Abbildung 2 rechts gezeigt, neben dem mittig eingesetzten Freilauf ist auch eine beidseitige Stützlagerung vorgesehen, da Freiläufe selbst keine Lagereigenschaften besitzen. In Freilaufrichtung wird die Zusatzlast über die Stützlager abgeführt, der Kraftfluss der Radialkraft F_R ist in Abbildung 2 rechts als roter Verlauf eingezeichnet. Beim Klemmen des Freilaufs in Sperrrichtung kommt es zu einer Aufweitung des Freilaufs, wodurch die Radiallast dann über den Freilauf statt über die Stützlager geleitet wird.

Die rotierende mittlere Hohlwelle der gezeigten Prüfglocke wird beidseitig axial gegen die feststehenden Messgehäuse abgestützt. Die Abstützung erfolgt über Reibringe aus Kunststoff, die einen radialen Ausgleich durch die Zusatzlast bei gleichzeitig geringer Reibung gewährleisten. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Radialkraft vollständig über den Prüfling geleitet wird und gleichzeitig die axiale Position des Prüflings gehalten wird. Die Radiallast wird über den Prüfling weiter auf die Schaltwelle (Innenwelle) geleitet. Über die beidseitige Lagerung der Schaltwelle und den insgesamt symmetrischen Aufbau der Prüfeinheit wird die Radiallast gleichmäßig an die DMS-Messstellen geleitet, sodass die im Freilauf wirkende Radiallast direkt erfasst werden kann.

Die Schaltwelle wird an einer Ausgleichskupplung montiert, die einen Winkel- und Radialversatz während der Versuche ausgleicht. Auf diese Weise kann eine nahezu vollständige Abkopplung zum restlichen Prüfaufbau gewährleistet werden, sodass eine sehr präzise und direkte Radiallastmessung durchgeführt werden kann. Das neue Konzept für die Aufnahme von Prüflingen ermöglicht den flexiblen Wechsel zwischen mehreren unterschiedlichen Prüflingaufnahmen, die jeweils genau auf unterschiedliche Prüflinggeometrien und Freilaufarten zugeschnitten werden können. Der Wechsel zwischen unterschiedlichen Prüflingen kann somit ohne große Umbau- und Stillstandszeiten vollzogen werden.

Um einen schnellen Prüflingswechsel im Prüfstand zu realisieren, können auch mehrere derselben in Abbildung 2 gezeigten Aufnahmen eingesetzt werden, sodass Prüflinge unabhängig vom Prüfstandsbetrieb bereits vormontiert werden können. Durch die einfache Anbindung am Prüfstand ist ein schneller Austausch der gesamten Prüflingaufnahme möglich, sodass die Stillstandszeit am Freilauf-Doppelprüfstand zukünftig reduziert werden kann. Eine minimierte Stillstandszeit steht besonders im Rahmen des durchzuführenden Forschungsvorhabens mit vielen Radiallastversuchen im Vordergrund.

Kenndaten des Freilauf-Doppelprüfstands

Bei der Umkonstruktion der Freilaufaufnahme wurde auf eine Vergleichbarkeit zum vorherigen Aufbau geachtet, sodass zukünftige Versuchsergebnisse weiterhin mit bereits durchgeführten Versuchen verglichen werden können. Mit dem Prüfstandsaufbau können maximal folgende Prüfbereiche abgebildet werden:

- Maximaler Verdrehwinkel $\varphi = \pm 10^\circ$
- Maximales Torsionsmoment $T_{\max} = 200 \text{ Nm}$
- Maximale Radiallast je Prüfling $F_{\text{rad,max}} = 36 \text{ kN}$
- Maximale Prüffrequenz $f = 15 \text{ Hz}$

Mit dem aufgebauten Prüfstand können die für das Forschungsvorhaben ausgewählten Prüflingstypen untersucht werden. Zu untersuchen sind zwei Klemmrollenfreilaufarten mit unterschiedlicher Rampenausführung sowie erstmals Klemm-

Körperfreiläufe unter dem Einfluss unterschiedlich hoher Radiallasten. Eine Anpassung des Prüfstands an den jeweiligen Freilaufotyp erfolgt über die neue Prüflingsaufnahme, die abhängig von der jeweiligen Prüflingsgeometrie individuell konstruiert wird.

Zusammenfassung

Das vorgestellte Prüfstandskonzept dient der Optimierung des Prüfaufbaus und einem flexiblerem Prüflingswechsel an dem bereits bestehenden Freilauf-Doppelprüfstand, damit eine zeiteffiziente Durchführung des versuchsintensiven Vorhebens möglich wird. Mit diesem Prüfstand kann der Einfluss einer zusätzlichen Radiallast auf die Freilauflebensdauer untersucht werden. Die neu entwickelte Prüfeinheit ermöglicht durch den in sich geschlossenen und vom restlichen Prüfaufbau abgekoppelten Aufbau die Möglichkeit, beliebige Freilaufotypen und -geometrien ohne große Umbaumaßnahmen flexibel zu untersuchen. Die direkte Einleitung der Radiallast auf die Prüflinge kann direkt und ohne rechnerische Korrektur erfasst werden, sodass das Fehlerpotential noch einmal reduziert wird.

Der Einfluss der Radiallast auf die Freilauflebensdauer und die damit einhergehenden Lastverteilungen in einem Freilauf werden an dem Doppelprüfstand im Rahmen des Forschungsvorhabens 694 II – Freilauf kombinierte Lasten 2 der Forschungsvereinigung Antriebstechnik analysiert. Die flexibel austauschbare Prüfeinheit ermöglicht die notwendigen Untersuchungen der geometrisch unterschiedlichen Klemmrollen- und Klemmkörperfreiläufe, die im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens getestet werden.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) und ihren Mitgliedern für die inhaltliche Betreuung sowie bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) für die finanzielle Unterstützung des Projekts „Freilauf – kombinierte Lasten“ (FVA 694 II, IGF-Nr. 21066/N).

Literatur

- /1/ Nagler, N; Lohrengel, A.: Einfluss kombinierter Lasten auf die Freilauflebensdauer – Konzept, Institutsmittteilung Nr. 38, Institut für Maschinenwesen, Technische Universität Clausthal, 2013
- /2/ Martinewski, V; Ochse, G.: Sachstandsbericht zum FVA-Projekt 694 II Freilauf kombinierte Lasten 2; Technische Universität Clausthal, Universität Kassel; 2020