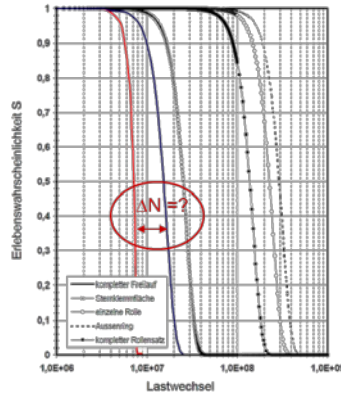


## Einfluss kombinierter Lasten auf die Freilauflebensdauer - Konzept

Nagler, N.; Lohrengel, A.

Klemmkörper- und Klemmrollenfreiläufe werden als reibschlüssig wirkende Kupplungen eingesetzt, um die Wirkrichtung eines Torsionsmoments festzulegen. Die Lebensdauer von Freiläufen unter ausschließlicher Torsionsmomentenbelastung kann von Anwendern und Herstellern auf Basis vorhandener Erfahrungswerte, aber auch aus Forschungsergebnissen realistisch eingeschätzt werden. In der Praxis auftretende Zusatzlasten aus radialen Kräften oder Laufbahnverkipnungen führen zu einem verfrühten Ausfall des Freilaufs, wobei die daraus resultierende Lebensdauerverkürzung bislang quantitativ nicht bekannt ist. Auch bei der Freilaufauslegung kann dieser Einfluss noch nicht berücksichtigt werden, da die hierfür erforderlichen Auslegungsg Grundlagen fehlen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, gemeinsam mit dem Institut für Antriebs- und Fahrzeugtechnik (iaf) der Universität Kassel soll diese Mangelsituation behoben werden.



Sprag freewheels and roller freewheels are clutches based on the principle of friction-locked power transmission. They are used in order to ascertain the affective direction of a torsional moment. The freewheel's lifespan due to solely torsional load can be estimated realistically by the user as well as the manufacturer on the basis of daily use experiences and research results, respectively. It is known, that in practice the torsional loads are overlaid with additional loads, resulting from radial forces or tilted tracks. This causes a premature failure. Until today, the resulting lifespan reduction cannot be predicted yet. As there does not exist any basis of design for freewheels that are used under such load conditions, these lifespan reducing circumstances cannot be included in the freewheel's basis of design yet. In the frame of a research project in corporation with the University of Kassel, this insufficient condition should be ended.

## **1 Einleitung**

Die Auslegung der Klemmkörper- bzw. Klemmrollenfreiläufe (im Folgenden: Freiläufe) bzgl. deren Beanspruchung und Lebensdauer erfolgt derzeit mit Berechnungsprogrammen wie z. B. LD und JFRED, die aus verschiedenen Forschungsvorhaben bei der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) hervorgegangen sind. Die heute genutzte Berechnungsmethodik wurde für den üblicherweise angestrebten Fall entwickelt, bei dem eine Belastung des Freilaufs nur durch das Torsionsmoment in Klemmrichtung erfolgt und zusätzliche Belastungen konstruktiv weitgehend vermieden werden. In einigen praktischen Anwendungen sind Zusatzlasten (durch radiale Kräfte oder Verkippen einer Laufbahn) konstruktiv oder unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht vermeidbar. Insbesondere ist dies problematisch, da die auf einen Freilauf einwirkenden Zusatzlasten zu einer i.a. über dem Umfang und ggfs. der Breite ungleichmäßigen Belastungsverteilung der beteiligten Körper führen, wodurch die Anzahl der Schaltzyklen des Freilaufs nicht mit der Anzahl an Lastzyklen mit Spitzenbelastung gleichgesetzt werden kann. Dadurch wird die erreichbare Lebensdauer des Freilaufs mit Zusatzlast geringer ausfallen als die des Freilaufs ohne Zusatzlast. Mit Hinblick auf diese Fälle steht der Industrie bislang kein geeignetes Werkzeug zur Verfügung, das eine adäquate und sichere Dimensionierung bzw. Lebensdauerabschätzung von Freiläufen unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Zusatzlasten ermöglicht.

### **1.1 Ziele des Vorhabens**

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des Vorhabens

- gestützt durch Simulationen am iaf und Versuche am IMW Erkenntnisse über die bestehenden örtlich sowie zeitlich komplexen Belastungszustände im Freilauf zu erlangen,
- schädigende Einflüsse bzw. Wirkungen auf die Freilauflebensdauer zu ermitteln und zu bewerten
- die in Abbildung 1 geschilderte Ausgangssituation durch das Erweitern bestehender Lebensdauergleichungen unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Zusatzlasten zu verbessern
- somit die noch vorhandenen Wissenslücken hinsichtlich der adäquaten Freilaufauslegung bei den hier vorliegenden, komplexen Belastungszuständen zu schließen und
- dem Anwender durch eine geeignete Darstellung des erlangten Wissens in tabellarischer oder graphischer Form ein

praxistaugliches Hilfsmittel bei der Auslegung von Freiläufen mit Zusatzlasten an die Hand zu geben.

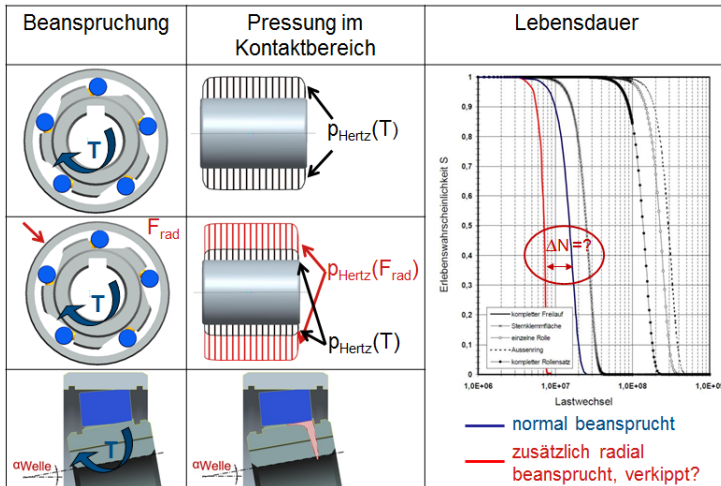


Abbildung 1: Ausgangssituation/Problemstellung

### 1.2 Lösungsweg

Im Rahmen dieses Kapitels wird kurz das für die Simulation am IMW und die experimentellen Untersuchungen am IMW analoge Vorgehen zum Erreichen der in Kapitel 1.1 zuvor beschriebenen Ziele aufgezeigt. Das Vorgehen gliedert sich sowohl für die theoretischen als auch für die experimentellen Untersuchungen in drei Schritte, die Abbildung 2 verdeutlicht. Die Einflüsse der Verkipfung, beispielsweise der Welle, sowie der Einfluss zusätzlicher Radialkräfte  $F_{rad}$  werden dabei getrennt voneinander betrachtet und bewertet.

Im ersten Projektabschnitt wird zunächst ein Basiszustand betrachtet. Dieser ist so definiert, dass er einem Freilauf mit einer normalen Lastsituation entspricht, bei der keine zusätzlichen Radiallasten  $F_{rad}$  oder Laufbahnverkipfung, z. B. der Welle vorliegen. Für diesen Basisfall werden die Belastungszustände betrachtet, vor allem mit Hinblick auf die Hertz'sche Pressungsverteilung im Rolle - Laufbahn Kontakt und die erreichbare Lastwechselzahl. Darauf folgend wird der Freilauf durch eine zusätzliche, umlaufende Radialkraft  $F_{rad}$  beaufschlagt, die zu einer geänderten, vermutlich im Bereich der zusätzlichen Radialkraft  $F_{rad}$  erhöhten und ausgeprägteren Pressungsverteilung im Kontakt Rolle-Laufbahn führen wird. Weiterhin ist daraus folgend von einer zu quantifizierenden Reduzierung der ertragbaren Lastwechsel-

zahlen auszugehen. Eine Wellenverkipfung liegt nicht vor. Nach Abschluss dieser Untersuchung wird der Freilauf im dritten Schritt mit einer Wellenverkipfung von  $\alpha_{\text{Welle}} \neq 0^\circ$  beaufschlagt, was auch hier zu einer veränderten Pressungsverteilung mit lebensdauerermindernden, ausgeprägten Pressungsspitzen in dem sich in Kontakt befindlichen Bereich des Rolle-Laufbahn Kontakts führen wird. Hier beträgt die zusätzliche Radialbelastung durch  $F_{\text{rad}} = 0\text{N}$ .

Im Rahmen des oben beschriebenen Vorgehens zum Erreichen des Forschungsziels arbeiten beide Forschungsstellen eng zusammen. Diese Vernetzung sowie die, von den jeweiligen Instituten, zu erreichenden Teilziele verdeutlicht Abbildung 3. Darin entspricht der linke Zweig den Arbeiten des iaf (Universität Kassel) und der rechte Zweig denen des IMW (TU Clausthal).

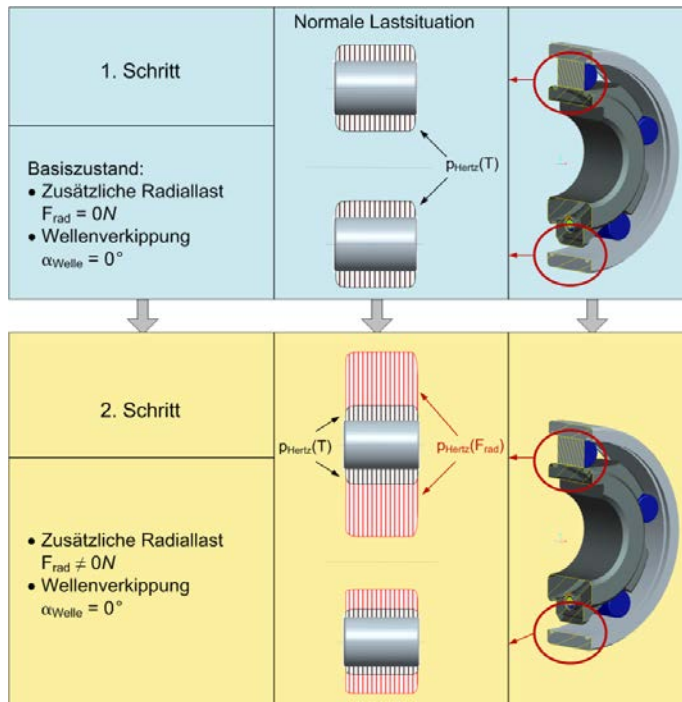


Abbildung 2: Allgemeine Vorgehensweise bei der Simulation und den experimentellen Untersuchungen – 1. und 2. Schritt

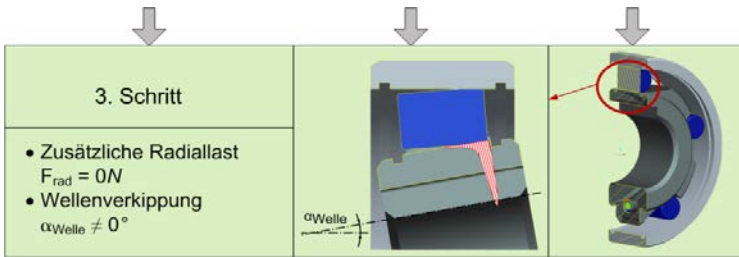


Abbildung 3: Allgemeine Vorgehensweise bei der Simulation und den experimentellen Untersuchungen – 3. Schritt

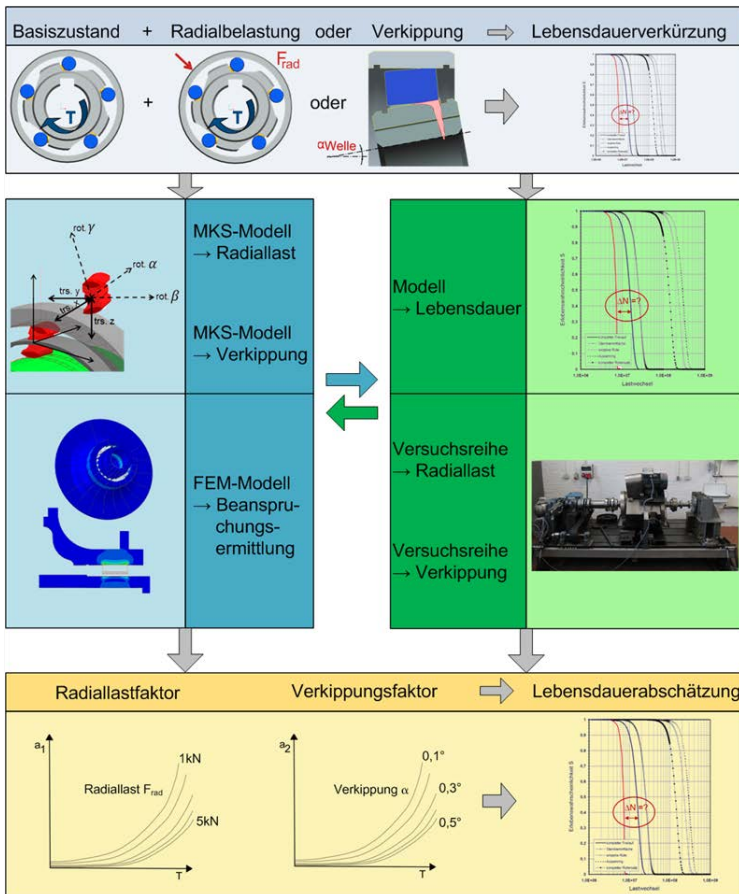


Abbildung 4: Vernetzung der Forschungsstellen und Teilziele

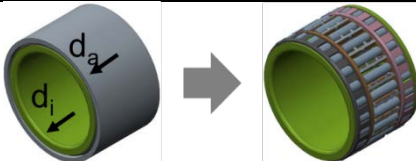
## 2 Stand der experimentellen Untersuchungen

Im Rahmen dieses Kapitels wird auszugsweise der Stand der experimentellen Untersuchungen am IMW, mit Fokus auf den Freilauflebensdauerprüfstand erläutert. Dieser wird derzeit am IMW gebaut und steht demnächst für die im Rahmen der erforderlichen Versuche zur Verfügung. Zunächst werden jedoch kurz die für das FVA-Vorhaben 694 relevanten Prüflinge vorgestellt.

### Geometrie und Eigenschaften der Prüflinge

Die Geometrie des zu betrachtenden Prüflings sowie dessen Einsatzgrenzen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Geometrie des Prüflings - Übersicht

Freilauf		$T_{\text{grenz}}$ [Nm]	
		160	
		$d_i$ [mm]	$d_a$ [mm]
		30,6	41,0

### 2.1 Prüfstandskonzept

Um später eine adäquate Vergleichbarkeit sowie Validierung der Simulationsergebnisse anhand der Versuchsergebnisse zu ermöglichen, wird für das Forschungsvorhaben derzeit ein Lebensdauerprüfstand gebaut, der einerseits maßgeschneidert für die Lebensdaueruntersuchung von Freiläufen unter zusätzlichen Radiallasten ist, andererseits jedoch so variabel, dass er in anderen, bereits laufenden oder auch zukünftigen Freilauf-Forschungsvorhaben genutzt werden kann.

Um in Forschungsvorhaben eine zeit- und kosteneffiziente Versuchsdurchführung zu ermöglichen, können auf diesem Prüfstand gleichzeitig zwei Prüflinge getestet werden. Das erarbeitete Prüfkonzept zeigen Abbildung 4 bis Abbildung 8. Die Innenringe der beiden zu prüfenden Freiläufe werden auf die jeweilige Innensternwelle gepresst. Beide Innensternwellen werden über ein Getriebe von einem Motor angetrieben, der mittels einer einstellbaren Amplitude und Frequenz eine oszillierende Bewegung in die Klemm- oder Freilauf-Richtung ausführt. Die beiden Prüflinge werden, was deren Klemm-

und Freilaufriechung betrifft, entgegengesetzt eingebaut, so dass jeweils ein Freilauf klemmt und der andere freiläuft. Die Freilaufaußenringe werden jeweils in eine Trägernabe eingepresst, welche wiederum mit einer Riemenscheibe verbunden wird. Die Beaufschlagung des Freilaufaußenringes mit einer zusätzlichen, veränderlichen Radiallast erfolgt jeweils über einen beständig umlaufenden Riemetrieb. Die Höhe der radialen Zusatzlast kann über eine entsprechend eingestellte Spannrolle angepasst werden. Die Positionsänderung der Spannrolle soll dabei Stick-Slip frei unter Nutzung mehrerer pneumatischer Muskeln erfolgen. Dazu werden die pneumatischen Muskeln mit Druckluft beaufschlagt, kontrahieren, bewegen somit definiert die Spannrolle nach unten und bewirken eine Radiallast am Freilaufaußenring. Bei Abführung der Druckluft längen sich die Muskeln auf ihre Ausgangslänge zurück, die Spannrolle bewegt sich nach oben und der Freilaufaußenring wird entlastet. Um eine Verwindung der Muskeln oder ein ungleichmäßiges Ziehen der Einzelmuskeln zu verhindern, wird die Bewegung der Muskeln mit einem Gestell geführt (s. a. Abbildung 6 und Abbildung 7).

Für den Freilauf unter kombinierter Last sind verschiedene Lastszenarien denkbar, wobei das „worst case Szenario“ für den hier zu betrachtenden Lastfall am sinnvollsten erscheint. Dabei wird, quasi ortsfest, abgesehen vom sich drehenden Außenring, immer das gleiche Klemmelement sowie die dazu gehörende Klemmrampe belastet. Aus der Erfahrung heraus wird beim oben beschriebenen Vorgehen ein Versagen des Prüflings durch Pittings an der Klemmfläche der Innensternlaufbahn erwartet.

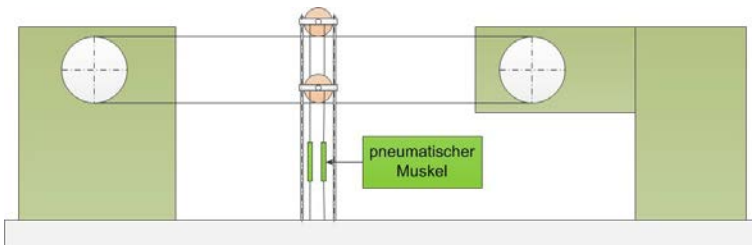


Abbildung 5: Prüfstands-konzept schematisch; Radiallastaufbringung

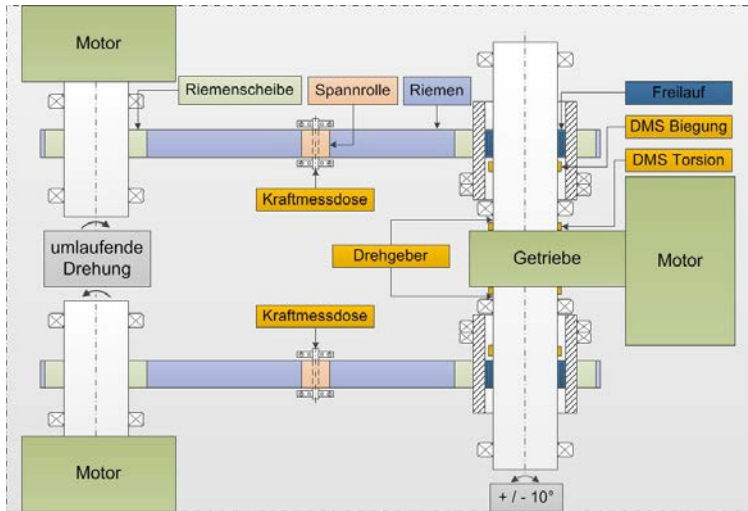


Abbildung 6: Prüfstandskonzept, schematisch

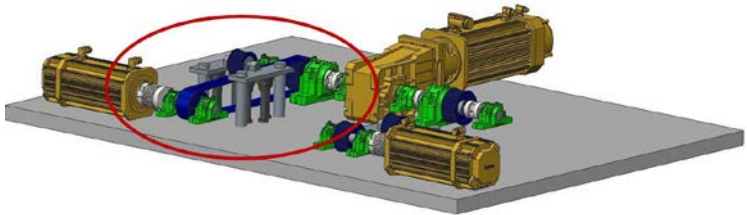


Abbildung 7: Konstruktive Umsetzung, CAD-Darstellung

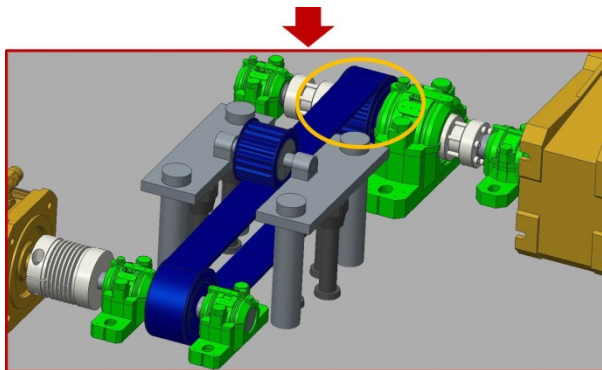


Abbildung 8: Konstruktive Umsetzung, CAD-Darstellung; Detail



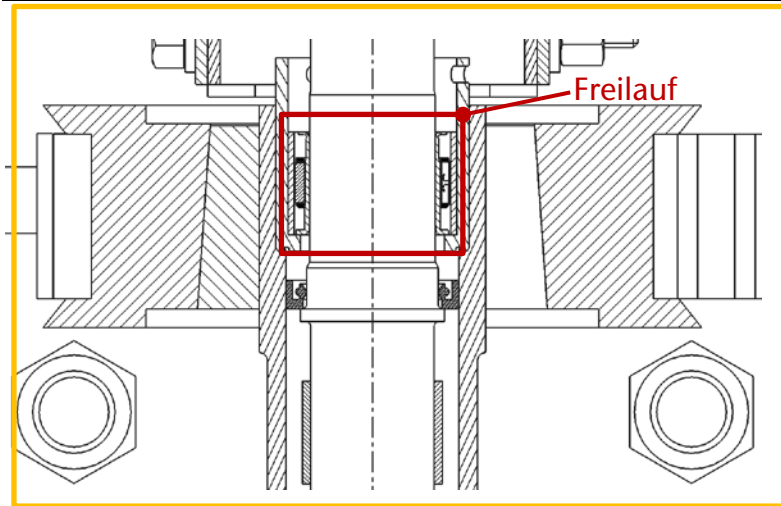


Abbildung 9: Konstruktive Umsetzung, CAD-Darstellung; Schnitt durch den Mittelteil

Eckdaten:

- 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  $f = 15 \text{ Hz}$

Erfasste Messgrößen je Freilauf:

- Biegemoment am Innenstern (DMS); darüber indirekt Messung der Radialkraft am Außenring
- Torsionsmoment am Innenstern (DMS)
- Radialkraft durch die Muskeln (Kraftmessdose)
- Verdrehwinkel der Innensternwelle (Drehgeber)

Abbruchkriterien:

- Erreichen der vorgegebenen Lastwechselzahl
- Versagen des Prüflings vor dem Erreichen der Lastwechselzahl

### **3 Zusammenfassung**

Im obigen Artikel wurde zunächst auf die dem Forschungsvorhaben zugrundeliegende Problemstellung, danach die sich daraus ergebende Zielstellung, sowie das daraus resultierende Vorgehen beschrieben. Im Anschluss daran wurde der im Bau befindliche Lebensdauerprüfstand vorgestellt, der die Prüfkapazitäten des IMW im Freilaufbereich ergänzt.

### **4 Danksagung**

Die Autorin 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, IGF-Nr. 17157/N).