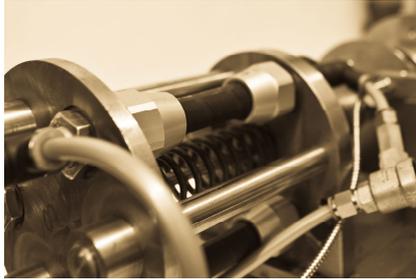


## Untersuchung des Einflusses axialer Belastungen auf das Schaltverhalten von Freiläufen – Erste Ergebnisse



Nagler, N.

Klemmkörper- und Klemmrollenfreiläufe werden als reibschlüssig wirkende Kupplungen eingesetzt, um die Wirkrichtung eines Torsionsmoments festzulegen. Freiläufe können weder radiale noch axiale Führungsaufgaben übernehmen. Aus der Praxis sind Schadensfälle bekannt, die auftreten, wenn axiale Belastungen nicht vom Freilauf ferngehalten werden können. Im Rahmen eines laufenden FVA-Projekts sollen der qualitative und quantitative Einfluss der Axialbelastung auf die Funktionserfüllung bzw. das Versagen von Freiläufen untersucht und Berechnungsgrundlagen erstellt werden, die eine Berücksichtigung der Axialbelastung schon bei der Auslegung ermöglichen. An dieser Stelle werden erste experimentelle sowie simulative Ergebnisse vorgestellt.

*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. Due to their design principle they are unable to execute guiding tasks in neither axial nor radial direction. Damages occurred in case axial loads could not be prevailed. Within the scope of an FVA-project quantitative and qualitative influences of the axial load on the proper functioning or failing of freewheels are investigated respectively. Furthermore, a calculation basis will be developed that permits the consideration of axial loads already in the design stage of freewheels. In this article preliminary test rig as well as simulation results are presented.*

### 1 Einleitung

Freiläufe gehören zu den selbstständig schaltenden Kupplungen, wobei das Schalten abhängig von der relativen Drehrichtung der An- und der Abtriebsseite ist. Bei einem Freilauf sind die zwei Betriebszustände des Mitnahme- und des Leerlaufbetriebs möglich. Im Falle einer rotativen Bewegung in eine Drehrichtung kann der Freilauf im

Mitnahmebetrieb ein Torsionsmoment vom Antrieb auf den Abtrieb übertragen, bei entgegen gerichteter Drehrichtung, im Leerlaufbetrieb, wird kein Torsionsmoment vom Antrieb auf den Abtrieb übertragen.

Je nach der Art der Kraftübertragung werden Freiläufe in form- oder reibschlüssige Freiläufe unterteilt. Am bekanntesten ist der form-schlüssig wirkende Klinkenfreilauf, welcher in Ratschen oder der Hinterradnabe von Fahrrädern eingesetzt wird. Im industriellen Umfeld haben sich jedoch aufgrund der größeren Leistungsdichte und Schaltgenauigkeit die reibschlüssigen Freiläufe durchgesetzt. Die wichtigsten Bauformen von reibschlüssigen Freiläufen sind der Klemmrollen- sowie der Klemmkörperfreilauf (s. Abbildung 1).

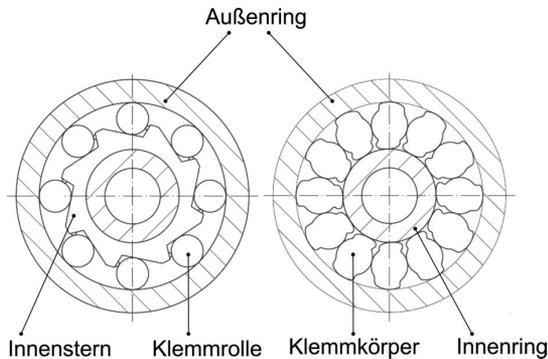


Abbildung 1: Klemmrollen- (links) und Klemmkörperfreilauf (rechts) nach /1/

## 2 Probleme und Ziele

Freiläufe mit Schaltfunktion, Schaltfreiläufe, werden in vielfältigen Anwendungen, wie z. B. im Antriebsstrang von Automobilen, genutzt. Zu vermeidende Anregungen in axialer Richtung entstehen z. B. im Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, wo die Drehungleichförmigkeit des Prozesses zur Schwingungsanregung einzelner Komponenten führt. Dadurch werden beispielsweise Verzahnungen, Riementreibe und Lagerungen im Umfang ihrer fertigungsbedingten Axialspiele zu Schwingungen angeregt. Hier auftretende Axialkräfte und –schwingungen, welche nicht durch geeignete Lagerungen oder andere Maßnahmen vermieden werden können, werden bei der Auslegung von Freiläufen nach gültigen Berechnungsvorschriften bislang nicht berücksichtigt. In Folge der erhöhten Summenbeanspruchung des Reibkontakts führt dies zu Funktionsstörungen oder einem Funktionsverlust.

Die grundlegende, gültige Auslegungsvorschrift für den Reibschluss ist die Einhaltung des aus den in Abbildung 2 dargestellten Kräften in den jeweiligen Kontakten im Freilauf. Das daraus resultierende, zentrale Funktionskriterium lautet

$$\tan(\alpha) = \frac{F_t}{F_n} \leq \mu \quad 2.1$$

Dieses besagt, dass für eine einwandfreie Funktionserfüllung des Freilaufs das Verhältnis aus Tangential-  $F_t$  und Radialkraft  $F_n$  immer kleiner als der Reibwert  $\mu$  sein muss. Der Einfluss axialer Belastungen findet hierin bislang keinerlei Berücksichtigung.

Ziel des Projekts ist es daher, basierend auf theoretischen und experimentellen Untersuchungen, abgesicherte Berechnungsgrundlagen zur Auslegung zugleich tangential und axial belasteter Freiläufe zu entwickeln, sowie dem Anwender konstruktive Empfehlungen zur Gestaltung der Freilaufverbindung zu geben. Ferner sollen im Rahmen des Projekts

- die Ursachen für den Funktionsverlust des Freilaufs bei Axialbelastung sowie
- die wirkenden Versagensmechanismen bestimmt und
- die Parameter ermittelt werden, die das Versagen bzw. den Funktionsverlust des Freilaufs begünstigen.

Durch die dazu durchgeführten experimentellen und theoretischen Untersuchungen soll das Verständnis für die auftretenden Phänomene im „System Freilauf“ sowie dessen Reaktion auf Belastungsänderungen gemehrt werden.

### **3 Ausgewählte theoretische Ergebnisse - Analytische Ermittlung der maximal ertragbaren Axialbelastung im Kontakt (Rutschgrenze)**

Die Verifizierung der experimentellen Ergebnisse des statisch/statischen Lastfalls (Beaufschlagung des Freilaufs mit einem statische Torsionsmoment und einer statischen Axiallast), erfolgt durch das Aufstellen des Kräftegleichgewichts am jeweiligen Freilaufkontakt (s. a. Abbildung 2) und unter Berücksichtigung des zentralen Funktionskriteriums aus Gleichung 2.1. Ziel ist es, die maximal ertragbaren Axialkräfte zu berechnen bis zu deren Erreichen noch ein Reibschluss vorliegt und die Funktionserfüllung des Freilaufs gesichert ist.

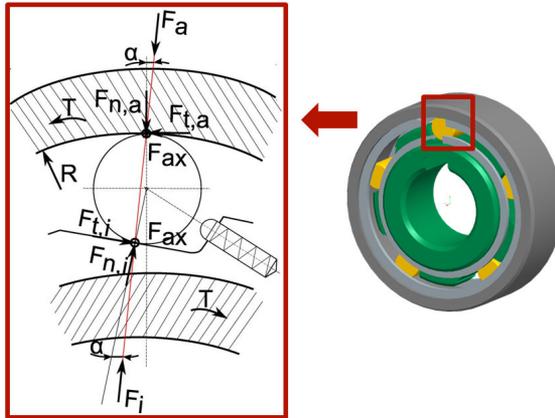


Abbildung 2: Auftretende Größen im Freilaufkontakt (Index i: Bezug Innenstern; Index a: Bezug Außenring)

Unter Berücksichtigung eines Axialkraftanteils ergeben Gleichung 3.1 und Gleichung 3.2

$$\sqrt{F_t^2 + F_{ax}^2} \leq \mu \cdot F_n \quad 3.1$$

$$F_{ax} < \sqrt{\frac{T^2}{R^2} \cdot \left( \frac{\mu^2}{\tan(\alpha)^2} - 1 \right)} \leq \mu \cdot F_n. \quad 3.2$$

Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf einen Freilauf mit  $R=28 \text{ mm}$ , einem angenommenen Reibkoeffizienten  $\mu$  zwischen  $\mu=0,1$  und  $\mu=0,12$  für einen Stahl/Stahl Kontakt. Mit einem Klemmwinkel  $\alpha$  als Funktion des Torsionsmoments  $T$  ergibt sich somit die maximal ertragbare Axialkraft ohne Aufhebung des Reibschlusses nach Abbildung 3. Diese Ergebnisse werden später denen der Versuche als Referenz gegenübergestellt.

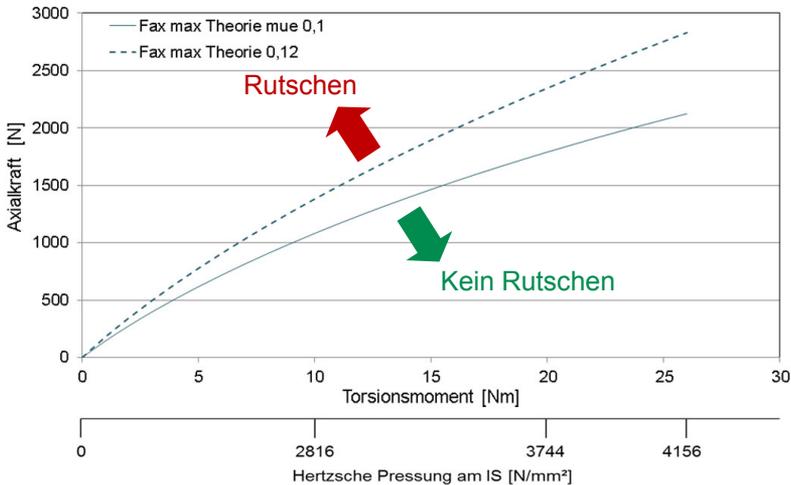


Abbildung 3: Maximal ertragbare Axialkraft als Funktion des Torsionsmoments

## 4 Experimentelle Untersuchungen

### 4.1 Freilaufschaltprüfstand

Im Rahmen des Projekts werden experimentelle Untersuchungen an Schaltprüfständen durchgeführt. Einen verwendeten Schaltprüfstand und dessen wichtigste Komponenten zeigt Abbildung 4.

Bei diesem Prüfstand wird der Freilaufinnenstern (IS) durch einen Servoantrieb mit statischen oder oszillierenden Belastungen beaufschlagt, der Freilaufaußenring (AU) kann über einen Riementrieb durch den zweiten Servoantrieb belastet werden. Die statische oder dynamische Axialbelastung des Innensterns erfolgt über ein Axialkraftmodul in Form von Pneumatikmuskeln. Die erforderliche Entkopplung der rotativen Bewegung durch die Servoantriebe und der translatorischen Bewegung durch das Axialkraftmodul erfolgt durch die zwischen dem Freilaufträger (grün) und dem Axialkraftmodul befindliche Glocke. Gemessen werden das Torsionsmoment in Freilaufnähe mittels DMS, die von den Pneumatikmuskeln erzeugte Axialkraft, die Verdrehwinkel am Innenstern und am Außenring sowie die axialen Wegverschiebungen durch Wegsensoren an der sich mitbewegenden Scheibe, die als Messreferenz genutzt wird.

Eckdaten des Freilaufschaltprüfstands:

- Torsionsmoment: maximal. 26 Nm
- Maximale Schaltfrequenz: 30 Hz (AC Servoantrieb IS)
- Maximale Axialkraft: 3 kN (Pneumatikmuskeln)
- Maximale Axialfrequenz: 30 Hz (Pneumatikmuskeln)

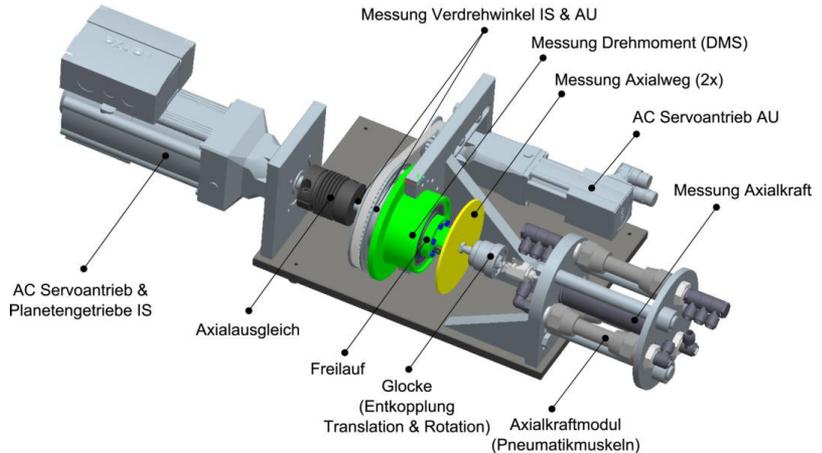


Abbildung 4: Freilaufschaltprüfstand

## 4.2 Messergebnisse und Gegenüberstellung mit theoretischen Ergebnissen

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen Messergebnisse am oben vorgestellten Freilaufprüfstand. Dabei wird der Prüfling zunächst mit einem statischen Torsionsmoment beaufschlagt und zum Klemmen gebracht. Anschließend erfolgt bei konstant gehaltenem Torsionsmoment eine zusätzliche Belastung des geklemmten Freilaufs durch eine kontinuierlich gesteigerte Axialkraft (Dreiecke) bis zum Auftreten von Ausfallerscheinungen wie unvollständigem Torsionsmomentenaufbau oder erstem Rutschen (Quadrate). Zusätzlich zu den Messergebnissen sind in Abbildung 5 die oben vorgestellten Theorieergebnisse (s. Abbildung 3) in Form der durchgezogenen bzw. gestrichelten Kurven für einen angenommenen Reibkoeffizienten  $\mu$  zwischen  $\mu = 0,1$  und  $\mu = 0,12$  hinterlegt.

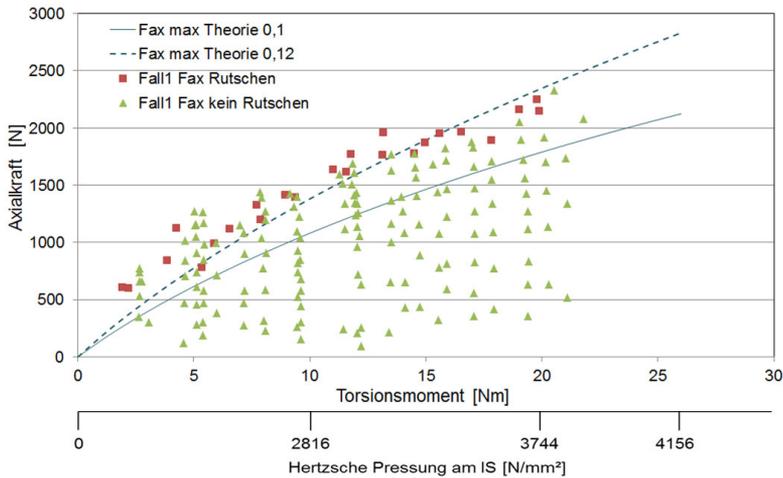


Abbildung 5: Zusammenfassung der Messergebnisse

Bis auf wenige Ausnahmen im Bereich geringer Torsionsmomente bzw. Pressungen ist eine klare Trennung zwischen erstem Rutschen (Quadrate) und nicht Rutschen (Dreiecke) erkennbar. Weiterhin besteht eine sehr gute Korrelation der Versuchsergebnisse mit denen der Theorie für den Fall  $\mu = 0,12$ . Dies spiegelt sich auch bei der Gegenüberstellung des aus den Messwerten berechneten Reibkoeffizienten beim ersten Rutschen mit denen der Theorie wieder (s. Abbildung 6). Abgesehen von Streuungen im Bereich geringer Torsionsmomente wird die Erwartung bestätigt, dass keine Abhängigkeit des übertragbaren Torsionsmoments bzw. der Pressung vom Reibkoeffizienten vorliegt. Die Ergebnisse bestätigen ferner, dass der für diesen Anwendungsfall entwickelte Freilaufprüfstand sehr gut zur Untersuchung von Freiläufen geeignet ist, v. a. vor dem Hintergrund weiterer, im Rahmen des Projekts zu betrachtender, Lastfälle (statisches Torsionsmoment und dynamische Axiallast; dynamisches Torsionsmoment und dynamische Axiallast).

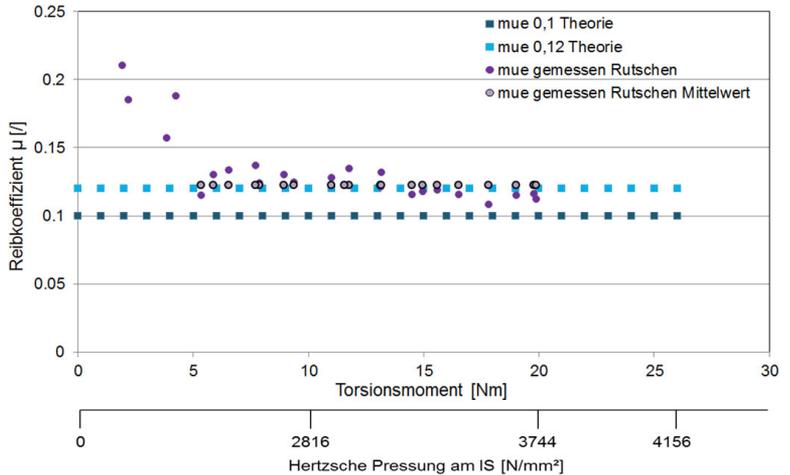


Abbildung 6: Vergleich der aus Messergebnissen berechneten und theoretischen Reibkoeffizienten

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Artikels wurde auf die dem FVA-Projekt zugrunde liegende Problematik eingegangen sowie erste ausgewählte Ergebnisse aus den Bereichen der experimentellen und theoretischen Untersuchungen zunächst vor- und später gegenüber gestellt. Die bislang vorliegenden, hier auszugsweise vorgestellten Ergebnisse zeigen eine sehr gute Korrelation zwischen den theoretischen und experimentellen Untersuchungen.

## 6 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 „Axiale Belastbarkeit von Freiläufen“.

## 7 Literatur

- /1/ Produktkatalog „Freiläufe“ der Ringspann GmbH, Bad Homburg
- /2/ Stölzle, K.; Hart, S.: Freilaufkupplungen – Berechnung und Konstruktion; 1. Auflage; Springer-Verlag; Heidelberg; 1961