

## Experimentelle Untersuchung der Leerlaufeffizienz an Freiläufen

Duchâteau, F.; Lohrengel, A.

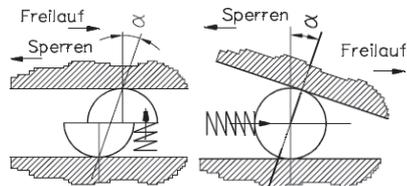
*Im Rahmen eines durchgeführten Industrievorhabens mit einem deutschen OEM wurden Freiläufe am IMW auf Ihre Effizienz im Leerlaufbetrieb hin untersucht. Neben der Variation von Baugröße und Freilauftyp, werden die Schleppmomente bei unterschiedlichen Drehzahlen und unter realen Randbedingungen ausgewertet und verglichen.*



*As part of an industrial project, freewheels were examined for their efficiency in freewheeling operation at IMW. In addition to varying the size and type of freewheel, the torque is evaluated and compared at different speeds and under real boundary conditions.*

### Einleitung

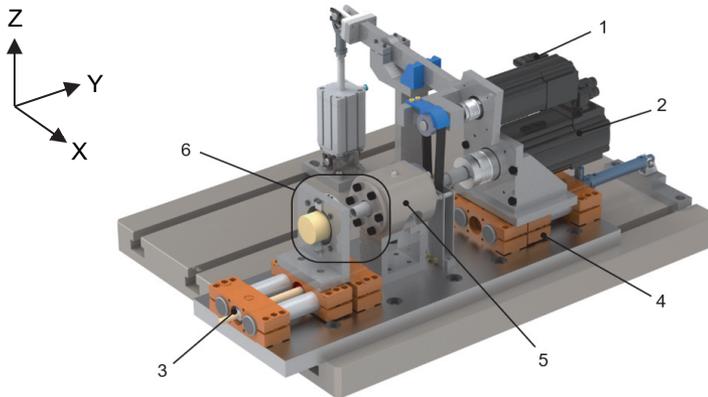
Bei der Auslegung von Antriebssträngen erfolgt zunehmend eine Optimierung hin zu mehr Effizienz, um z. B. bei E-Bikes oder E-KFZ bestmögliche Reichweiten zu erreichen. Mit steigenden Anforderungen nimmt der Aufbau an Komplexität zu. Unter bestimmten Bedingungen kann der Einsatz von drehrichtungsabhängig selbsttätig schaltenden Kupplungen (Freiläufen) eine Option darstellen, wobei Teile des Antriebs bei Nichtnutzung automatisch abgekoppelt werden. Reibschlüssig arbeitende Freiläufe, bestehend aus Innenring, Außenring und Klemmelementen, gliedern sich in Klemmkörper- und Klemmrollenfreiläufe, Abbildung 1. Während die Klemmwirkung beim Klemmrollenfreilauf durch einzeln angefederte Klemmrollen zwischen speziell geformtem Stern und Ring erfolgt, werden beim Klemmkörperfreilauf die speziell gekrümmten Klemmelemente zwischen den zylindrischen, koaxialen Freilaufringen verkeilt, um einen Kraftschluss herzustellen /1/. Im Folgenden werden Freiläufe im Leerlaufbetrieb untersucht und hinsichtlich des Schleppmomentverhaltens ausgewertet. Randbedingungen wie Variation der Drehzahl, Schmierung, Temperatur und Antriebsmodi können realitätsnah angepasst werden. Für die Betrachtungen werden vier Freiläufe herangezogen, wobei es sich sowohl um Standard-Freiläufe als auch um anwendungsspezifische Sonderauslegungen handelt.



**Abbildung 1:** Darstellung der verwendeten Freilaufarten /2/

## Versuchsaufbau

Für die Untersuchung von sehr kleinen Drehmomenten, wie bei der Betrachtung von Schleppmomenten vorliegend, steht am IMW ein servomotorischer Prüfstand zur Verfügung. Der Prüfstand, in Abbildung 2 dargestellt, besteht aus zwei Elektromotoren [Leerlauf (1) und Dynamik (2)], zwei Lineareinheiten [(3) und (4)], einer Lagereinheit (5) und einem Prüfraum (6) samt zugehöriger Messtechnik in Form von Drehmoment- und Drehzahlsensoren.



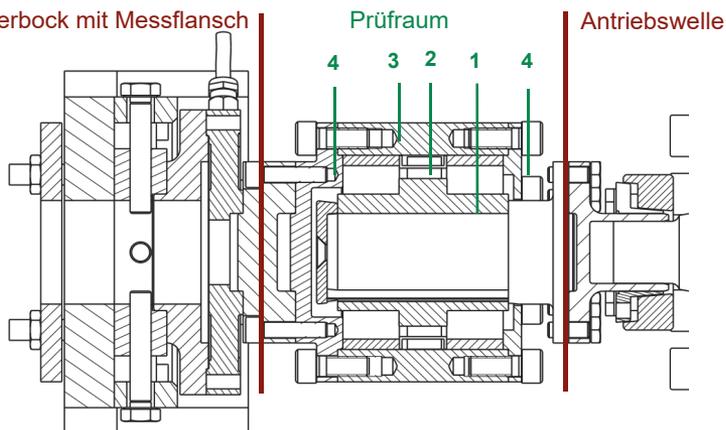
**Abbildung 2:** Freilauf-Leerlaufprüfstand

Der Prüfraum (6) ist über die erste Lineareinheit (3) axial verschiebbar, um Prüflinge verschiedener Abmessungen montieren zu können. Auf dem Schlitten der Lineareinheit ist ein Lagerbock montiert, welcher die Systemdrehmomente aufnimmt und messtechnisch erfasst. Der Prüfling wird über die Antriebswelle angetrieben, welche durch die Lagereinheit (5) geführt wird. Für den Antrieb stehen wahlweise ein Leerlaufmotor (1) und ein Dynamikmotor (2) zur Verfügung. Über die zweite Lineareinheit (4) ist der Dynamikantrieb zu- und abschaltbar. Das Koppeln des Leerlaufantriebs erfolgt durch Spannen des Keilrippenriemens. Je nach Anforderung können die Antriebe einzeln und in Kombination verwendet werden. Für die hier durchzuführenden Untersuchungen wird der Leerlaufantrieb verwendet. Die Steuerung erfolgt über das Programm des Motorherstellers (Lenze Engineer). Die Gewährleistung eines konzentrischen Laufs ist mittels Exzentrizitätsausgleich in X- und Z-Richtung ist im Bereich des Drehmomentsensors möglich. Eine bewusst definierte Exzentrizität ist über die Verspannung des Systems ebenfalls realisierbar.

Leistungsdaten des Dynamik-Leerlaufprüfstands:

- maximale Drehzahl im Überholbetrieb:  $10.000 \text{ min}^{-1}$
- maximale Winkelbeschleunigung des Dynamikmotors:  $28.000 \text{ s}^{-2}$
- maximales Drehmoment:  $55 \text{ Nm}$
- Auflösung des Drehmomentsensors:  $20 \text{ Nmm}$

Neben der Wahl des Antriebsmodi besteht die Möglichkeit die Prüflinge in den Prüfeinheiten im Ölsumpf oder mit einer Ölumlaufschmierung zu betreiben. Ergänzend kann über eine Thermokammer der Einfluss erhöhter Temperatur realisiert und untersucht werden. Abbildung 3 zeigt eine mögliche Adaption der Prüflinge im Prüfraum, hier bestehend aus Innenring (1), Freilaufkäfig (2), Außenring (3) und seitlichen Deckeln (4).



**Abbildung 3:** Adaption der Prüflinge im Prüfraum

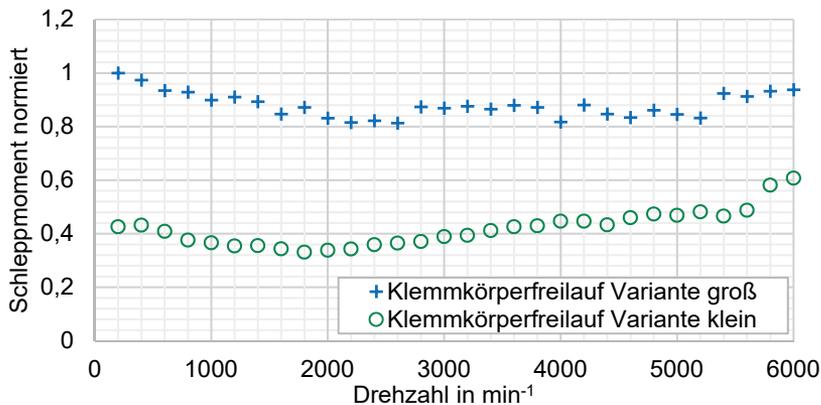
Für jeden untersuchten Freilauf ist die Adaption individuell anzupassen. In den hier vorliegenden Untersuchungen wird auf zusätzliche Dichtungen verzichtet, um das Schleppmoment direkt und unverfälscht erfassen zu können. Einlaufvorgänge von etwa zwei Stunden werden vor jedem Versuch durchgeführt, jedoch nicht in der Untersuchung ausgewertet. Die Adaptionen lassen einen wahlweisen Betrieb über den Innenring oder Außenring zu, der jeweils andere Ring wird am Messflansch starr fixiert.

### Experimentelle Untersuchungen

Es werden vier Freilaufvarianten untersucht. Die beiden Klemmkörperfreiläufe sind baugleich, wobei eine große Variante (A) und eine auf den Innendurchmesser bezogen um ca. 30 % kleiner dimensionierte Variante (B) betrachtet werden. Ein Klemmrollenfreilauf (C) mit Außenstern der Größe des Klemmkörperfreilaufes A entsprechend und eine Sonderauslegung (D) in Form eines Klemmkörperfreilaufes mit zusätzlich integrierter Lagerung gleicher Größe zu A werden ebenso untersucht. Gemessen werden die Schleppmomente bei unterschiedlichen Drehzahlen. Eine Auswahl an Versuchsergebnissen von jedem untersuchten Freilauftyp wird im Folgenden normiert und über der realen Drehzahl abgebildet. Die baugleichen Freiläufe (A & B) werden gemeinsam betrachtet, da diese sinnvoll verglichen werden können. Jeder dargestellte Messpunkt setzt sich aus jeweils drei gemittelten Versuchsergebnissen zusammen.

### Variante A & B

Die in Abbildung 4 gezeigten Verläufe der Standard-Klemmkörperfreiläufe zeigen grundlegend einen ähnlichen Schleppmomentverlauf, welches aufgrund der gleichen Baureihen sinnvoll erscheint. Das Schleppmoment nimmt im ersten Drittel des untersuchten Drehzahlbereiches zunächst leicht ab, zeigt dann bei der großen Variante einen konstanten Verlauf bis es zum Ende. Die kleine Variante zeigt hingegen einen leichten linearen Anstieg des Drehmomentes bis zum Ende.

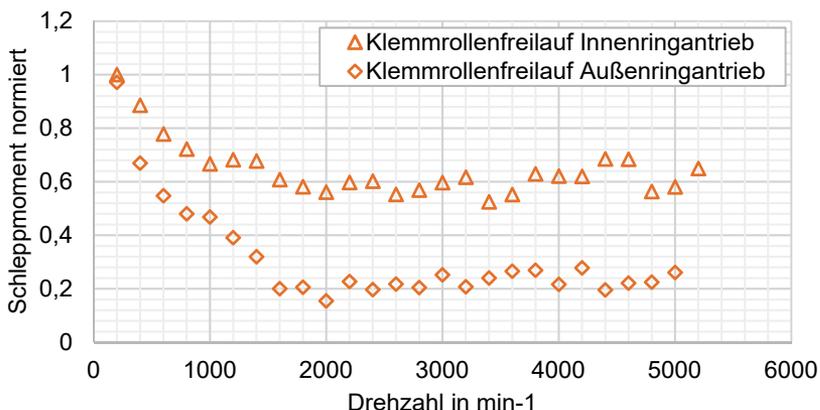


**Abbildung 4:** Ergebnisse zu den Standard-Klemmkörpervarianten A & B

Anhand der abgebildeten Verläufe liegt das Schleppmoment der großen Variante A im Anfangsbereich um ca. 50 % höher im Vergleich zur kleinen Variante, danach nimmt der Unterschied durch Zunahme des Schleppmomentes der kleinen Variante minimal ab. Streuungen werden hierbei nicht näher ausgewertet und betrachtet.

### Variante C

Der Fokus bei der Untersuchung des Klemmrollenfreilaufes, als grundlegend anders aufgebauter Prüfling im Vergleich zu den anderen Varianten, lag primär auf der Identifikation des Einflusses aufgrund der Antriebsart. Unterschieden wird in Innen- und Außenringantrieb, wobei entsprechend entweder der Innenring oder Außenring angetrieben wird, während der jeweils andere Ring am Drehmomentmessflansch starr fixiert ist. Abbildung 5 zeigt, dass die Verläufe beider Betriebsmodi zunächst, ausgehend vom gleichen Schleppmoment, stark abfallen, wobei unter Außenringantrieb der Abfall deutlich ausgeprägter ausfällt. Ab Erreichen von etwa 30 % der Prüfdrehzahl zeigen beide Untersuchungen einen sehr konstanten Schleppmomentverlauf. Auffällig ist der insgesamt nahezu identische Verlauf beider Untersuchungen. Der einzige Unterschied ist in der Höhe des Schleppmomentes begründet, welches mit zunehmender Drehzahl bei Außenringantrieb deutlich weiter absinkt.

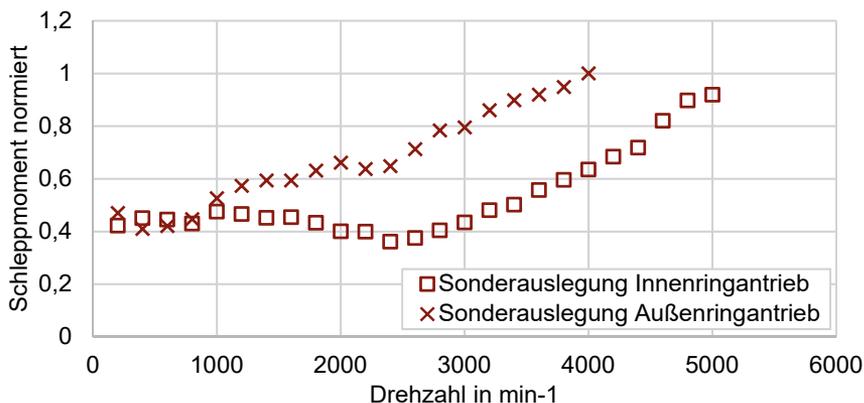


**Abbildung 5:** Ergebnisse zum Klemmrollenfreilauf mit Innen- und Außenringantrieb

Im parallelen Verlauf (zwischen 30 – 100 % der Drehzahl) liegt das Schleppmoment im Außenringbetrieb um den Faktor 3 unterhalb des Innenringantriebes. Ein Grund könnte auf die Bauform (Klemmrollenfreilauf mit Außenstern) zurückzuführen sein, sodass bei zunehmenden Fliehkräften in Wechselwirkung mit der Anpresskraft der Federn der Rolle-Zylinder-Reibkontakt auf ein Minimum reduziert wird.

**Variante D**

Die Sonderauslegung mit integrierter Lagerung wird wie Variante C geprüft. Die Untersuchungen in Abbildung 6 zeigen ein stark abweichendes Verhalten zu Variante C.



**Abbildung 6:** Ergebnisse zum Klemmkörperfreilauf mit integrierter Lagerung

Ausgehend von gleichen Schleppmomenten bei niedrigen Drehzahlen bis ca. 15% divergieren die Messergebnisse auseinander. Unter Außenringantrieb erfolgt sofort ein linearer Anstieg bis zur maximalen Drehzahl. Das Schleppmoment unter Innenringantrieb verläuft bis etwa 40 % nahezu konstant, danach erfolgt ein ebenfalls linearer Anstieg bis zum Messende. Auffällig ist bei dieser Variante der sehr ähnliche Verlauf beider Untersuchungen, mit dem Unterschied, dass das Schleppmoment bei Innenringantrieb deutlich später ansteigt. Im parallel verlaufenden Bereich zeigt sich eine um ca. den Faktor 1,7 bessere Effizienz bei Außenringantrieb, gegenüber Innenringantrieb.

### Zusammenfassung

Die Untersuchungen zu den Schleppmomenten an den unterschiedlichen Freiläufen zeigen grundlegend unterschiedliche Ergebnisse. Ein direkter Vergleich zwischen allen Freiläufen ist aufgrund der unterschiedlichen Bauart, Baugröße und Auslegung schwierig. Tendenziell liegt bei dieser Untersuchung das Schleppmoment der kleinen Baugrößen sehr niedrig. Besonders vorteilhaft erwies sich auch der Klemmrollenfreilauf unter Außenringantrieb ab einer mittleren Drehzahl. Ebenso konnte gezeigt werden, dass Freiläufe auf bestimmte Anforderungen, wie geringes Schleppmoment bei niedrigen Drehzahlen, ausgelegt werden können. Dies zeigt die Untersuchung der Sonderauslegung (Variante D). Die Versuche zeigen insgesamt, dass das Schleppmoment eng mit der Drehzahl verknüpft ist und entsprechend z. T. massiven Änderungen unterliegt.

Insgesamt eignet sich der Leerlauf-Effizienzprüfstand sehr gut, um unter diversen Betriebsmodi sowohl kleine als auch große Freiläufe jeglicher Bauform hinsichtlich ihrer Schleppmomente und auch Einschaltverhalten über große Drehzahlbereiche nachzubilden und zu analysieren.

### Literatur

- /1/ Stölzle, K.; Hart, S.: Freilaufkupplungen: Berechnung und Konstruktion; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1961
- /2/ Lohreggel, A.: Lebensdauerorientierte Dimensionierung von Klemmrollenfreiläufen; Dissertation RWTH Aachen; 2001