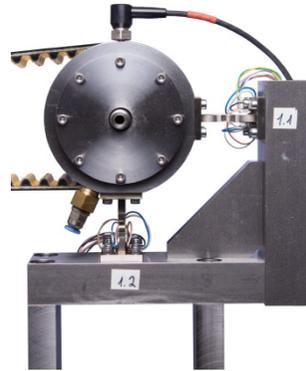


## Berechnung der Lastverteilung in radial belasteten Klemmrollenfreiläufen

Martinewski, V.

Zur drehrichtungsabhängigen Drehmomentübertragung werden Freiläufe verwendet. Im industriellen Bereich werden vorwiegend reibschlüssige Freiläufe eingesetzt, welche über das Verkeilen des Klemmkörpers bzw. der Klemmrolle zwischen An- und Abtrieb Umfangskräfte erzeugen, welche in einem Drehmoment resultieren. Um die Lebensdauer nicht zu beeinflussen, sollte dieses Maschinenelement frei von Zusatzlasten montiert werden, wodurch jeder Klemmkontakt die gleiche Belastung erfährt. In speziellen Anwendungsfällen lässt sich ein zusatzlastfreier Einbau nicht gewährleisten, sodass es zum Beispiel zu einer radialen Belastung des Freilaufs zusätzlich zur Klemmnormalkraft kommt. Dadurch, dass Klemmrollenfreiläufe in Ihrer Bauform den Zylinderrollenlagern ähneln, werden Formeln aus dem Wälzlagerbereich herangezogen, um auf die Lastverteilung im Freilauf zu schließen.



In the industrial sector, mainly friction freewheels are used for direction-dependent torque transmission. The torque results from the wedging of the roller between the inner and the outer ring. In order not to affect the lifetime, this machine element should be mounted without additional loads, whereby each contact undergoes the same load. In special cases load-free installation cannot be guaranteed, so additional loads such as a radial load lead to an increase of the normal forces. Because roller freewheels are similar to the cylindrical roller bearings, the formulas from the rolling contact bearings are used to calculate the load distribution in freewheels.

## Bestimmung der wirkenden Ausgangsnormalkraft

Bevor mit der Berechnung der Radiallastverteilung im Freilauf begonnen werden kann, ist zunächst die Ausgangsnormalkraft im Klemmkontakt je Rolle zu bestimmen, welche aus folgender Formel resultiert. /1/

$$F_N = \frac{2 \cdot M_T}{z \cdot d_a \cdot \tan(\alpha)} \quad 1$$

Abhängig des Klemmwinkels  $\alpha$  der Rollenzahl  $z$ , und dem Klemmkontakt-  
außendurchmesser  $d_a$  kann für jedes Drehmoment  $M_T$  die Normalkraft bestimmt  
werden, welche auf eine Rolle wirkt. Die Berechnung dieser Kräfte für den  
exemplarisch verwendeten Freilauf ist in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1: Drehmomentabhängige Normalkraft im Klemmkontakt für einen  
Beispielfreilauf ( $\alpha = 3,98$ ,  $d_a = 38$ ,  $z = 21$ ). /2/*

<b>Drehmoment [Nm]</b>	<b>Berechnete Normalkraft [N]</b>	<b>Simulierte Normalkraft [N] (iaf-mt Kassel)</b>
60	2600	2560
80	3020	3069
100	3774	3833
120	4529	4569
140	5284	5332
160	6039	6095
180	6794	6824

Für diesen Freilauf wurden am Institut für Antriebs- und Fahrzeugtechnik der  
Universität Kassel, Fachbereich Maschinenelemente und Tribologie (iaf-mt), FEM-  
Simulationen durchgeführt, sodass die Normalkräfte für den dargestellten  
Momentbereich vorliegen und zu Vergleichszwecken herangezogen werden  
können. Werden die berechneten und simulierten Werte verglichen, so ist  
ersichtlich, dass lediglich eine Abweichung von ca. 5% besteht. Die Verwendung  
der Formel 1 ist somit für die Bestimmung der Ausgangsnormalkraft geeignet. Um  
auch die auftretenden Normalkräfte bei radialer Zusatzlast vergleichen zu können,  
wird für die analytische Berechnung die gleiche Ausgangsnormalkraft in Höhe von  
2520 N angenommen, wie Sie auch in der Simulation gewählt wurde.

## Durchführung der Lastverteilungsberechnung

Klemmrollenfreiläufe ähneln in ihrer Bauform und Rollenanzahl Zylinderrollenlagern. Für diese Lager gibt es bereits Formeln zur Berechnung der Lastverteilung abhängig einer radialen Last. Die Maximalkraft  $Q_{\max}$  des Druckberges kann mit der Radialkraft  $F_R$  und der Rollenanzahl  $z$  mit folgender Formel abgeschätzt werden. /3/

$$Q_{\max} = 4,06 \cdot F_R / z \quad 2$$

Setzt man diesen Wert der Maximalkraft in die Formel 3 ein, so kann die Kraft eines Kontaktes für jeden beliebigen Winkel  $\psi$  zur Krafteinleitungsrichtung bestimmt werden. /4/

$$Q_{\psi} = Q_{\max} \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} (1 - \cos \psi)\right]^n \quad 3$$

Der Wert für den Exponenten  $n$  beträgt hierbei für Rollenlager  $10/9$  ( $\approx 1,11$ ). Der Lastverteilungsfaktor  $\varepsilon$  wird nach Formel 4 berechnet.

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{P_d}{2 \cdot \delta_r}\right) \quad 4$$

$P_d$  beschreibt hierbei das Radialspiel und  $\delta_r$  die Auslenkung des Innenrings zum Außenring bei Belastung. Da im Fall der Freiläufe von einem Radialspiel von null ausgegangen werden kann, beträgt der Lastverteilungsfaktor damit 0,5. Mit der Formel 3 wird nun die Lastverteilung für einen Freilauf mit 21, 14 und 7 Rollen mit Zusatzlasten von 1250 und 5000 N berechnet. Die wirkende Normalkraft an den Kontaktstellen durch die Drehmomentbelastung wird zu der positionsabhängigen Last addiert. Die Anordnung der Rollen bei der Rollenanzahlvariation ist in Abbildung 1 dargestellt.

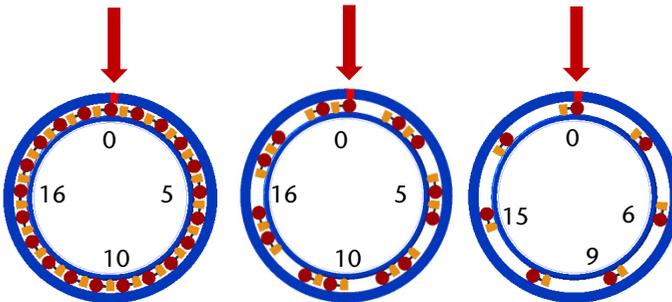


Abbildung 1: Darstellung der verglichenen Rollenanzahlvariationen

Für das Modell mit 21 Rollen entsteht die in Abbildung 2 dargestellte Lastverteilung. Für eine Zusatzlast von 1250 N beträgt die Abweichung der am iaf simulierten Werte zu der hier dargestellten Berechnung weniger als 2,1%; für 5000 N 4,0%. Eine Belastung des 21-Rollen-Freilaufs mit einer Last in Höhe der doppelten Ausgangsnormalkraft führt an der höchstbelasteten Stelle zu einer Lasterhöhung von ca. 38% und einer entsprechenden Entlastung auf der gegenüberliegenden Seite.

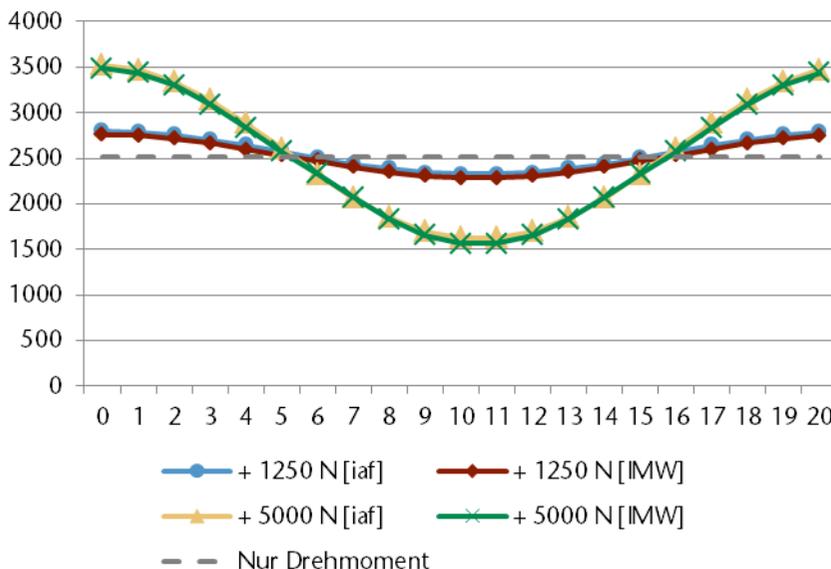


Abbildung 2: Lastverteilung als Normalkraft am Innenring in N für 21 Rollen /2/

Das Berechnungsmodell für den 14-Rollen-Freilauf hat keine symmetrische Rollenordnung, da lediglich aus dem bereits bestehenden Modell Rollen entfernt wurden. Zum Zweck des Abgleichs der Simulation mit der analytischen Berechnung wurde darauf verzichtet, eigens ein neues Modell für 14 Rollen zu erstellen. Um den Verlauf über dem gesamten Freilauf zu verdeutlichen, sind die nicht durch Rollen besetzten Werte aus den benachbarten Werten interpoliert worden. Wie auch dieser Abbildung zu entnehmen ist, ähneln die errechneten Werte den Simulierten. Bei einer Belastung von 5000 N liegt die Zusatzbelastung bzw. Entlastung bei ca. 58%. Die größte Abweichung von Simulation zur Berechnung liegt wie auch beim Modell mit 21 Rollen auf der entlasteten Seite und beträgt für diesen Fall 2,5% bei einer Last von 1250 N bzw. 6,6% bei 5000 N.

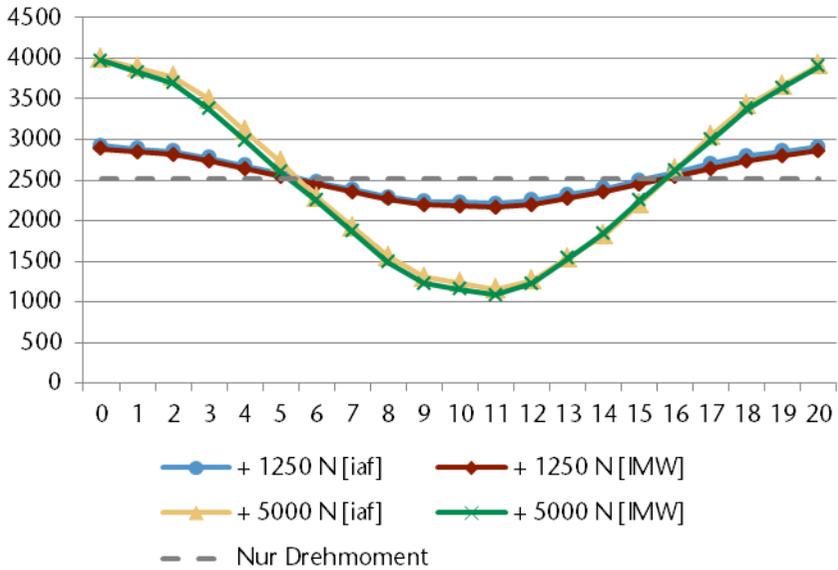


Abbildung 3: Lastvert. als Normalkraft am Innenring in N für 14 Rollen /2/

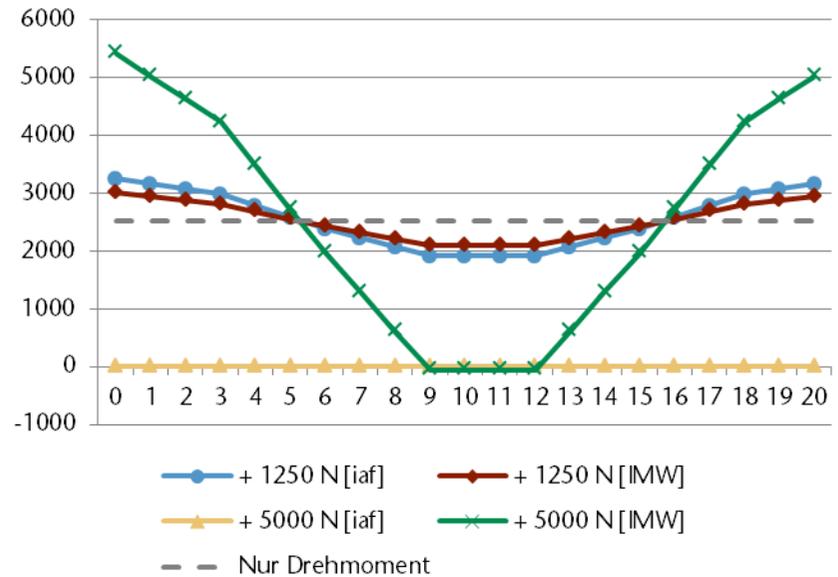


Abbildung 4: Lastvert. als Normalkraft am Innenring in N für 7 Rollen /2/

Abbildung 4 stellt die Lastverteilung für ein Modell mit 7 Rollen dar. Ein Vergleich der Lastverteilung bei einer radialen Zusatzlast von 5000 N ist nicht möglich, da hier die Simulation nicht konvergieren konnte. Grund hierfür ist der Kontaktverlust der entlasteten Rollen. Die vollständige Entlastung ist auch im analytischen Weg an den Rollen 9 bis 12 zu sehen, hier beträgt die errechnete Normalkraft 0 N. Die Abweichung für eine Belastung mit 1250 N beträgt ca. 8,6%. Wird der hier nicht dargestellte Fall einer Belastung von 2500 N betrachtet, so resultiert hier eine Abweichung von nur 4,3%.

## Zusammenfassung

Die dargestellten Berechnungen und Vergleiche mit Simulationen zeigen, dass zur ersten Abschätzung der Lastverteilung eines radial belasteten Klemmrollenfreilaufs die aus der Literatur für Zylinderrollenlager stammenden Formeln gut geeignet sind. Nach Bestimmung der Ausgangsnormalkraft kann abhängig der Rollenanzahl und der Höhe der radialen Zusatzlast, die auf die einzelne Rolle wirkende Normalkraft bestimmt werden. Hier hat sich gezeigt, dass mit steigender Rollenanzahl und damit sinkender Belastung, die Abweichung zwischen analytischer Berechnung und der Simulation geringer wird. Radial belastete Freiläufe sollten für eine gleichmäßigere Verteilung der Zusatzlast eine möglichst hohe Rollenanzahl aufweisen, wodurch die Einzelkontaktbelastung reduziert und damit die Gesamtlebensdauer des Freilaufs erhöht wird.

Der Einfluss der Radiallast und der damit einhergehenden Lastverteilung auf die Lebensdauer eines Freilaufs wird anhand eines eigens konstruierten Doppelprüfstands im Rahmen des Forschungsvorhabens 694 der Forschungsvereinigung Antriebstechnik analysiert.

## Literatur

- /1/ Stölzle, Hart: Freilaufkupplungen – Berechnung und Konstruktion; 1. Auflage; Springer; 1961.
- /2/ Martinewski, Qian.: Sachstandsbericht zum FVA-Projekt 694 Freilauf kombinierte Lasten; TU Clausthal, Uni Kassel; 2015.
- /3/ Bändlein, Eschmann, Hasbargen, Weigand: Die Wälzlagerpraxis – Handbuch für die Berechnung und Gestaltung von Lagerungen; 3. Auflage; Vereinigte Fachverlage GmbH; 2002.
- /4/ Harris, T.A.: Essential Concepts of Bearing Technology; 5. Auflage; Taylor & Francis Group; 2007.