

Reihe 1

Konstruktions-
technik/
Maschinen-
elemente

Nr. 447

M.-Eng. Stephan Ritzer,
Rennertshofen

Berechnung von Vier- punkt-Großwälzlagern mittels eines Mehrkörper- simulationsansatzes unter Berücksichtigung der Lagerringverformung



Berichte aus dem
Institut für Maschinenelemente,
Konstruktion und Fertigung der
Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Berechnung von Vierpunkt-Großwälzlager mittels eines Mehrkörpersimulationsansatzes unter Berücksichtigung der Lagerringverformungen

Von der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg
genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von	M.-Eng. Ritzer Stephan
geboren am	10. März 1982 in Donauwörth

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger, TU Freiberg
Prof. Dr.-Ing. Thomas Suchandt, TH Ingolstadt

Tag der Verleihung: 05.02.2018

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 1

Konstruktionstechnik/
Maschinenelemente

M.-Eng. Stephan Ritzer,
Rennertshofen

Nr. 447

Berechnung von
Vierpunkt-Großwälzlagern
mittels eines Mehrkörper-
simulationsansatzes unter
Berücksichtigung der
Lagerringverformung



Berichte aus dem
Institut für Maschinenelemente,
Konstruktion und Fertigung der
Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Ritzer, Stephan

Berechnung von Vierpunkt-Großwälzlager mittels eines Mehrkörper-simulationsansatzes unter Berücksichtigung der Lagerringverformung

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1 Nr. 447 . Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

144 Seiten, 127 Bilder, 32 Tabellen.

ISBN 978-3-18344701-5 ISSN 0178-949X,

€ 52,00/VDI-Mitgliederpreis € 46,80.

Für die Dokumentation: Vierpunkt-Großwälzlager – Kugeldrehverbindung – Simulation von Wälzkörperkräften – Mehrkörpersimulation

In der vorliegenden Arbeit werden heutzutage übliche Lagerberechnungsansätze in Hinsicht auf die Berechnung von Vierpunkt-Großwälzlager untersucht. Eine nähere Betrachtung zur statischen Tragfähigkeit, Steifigkeit, Lebensdauer und zum Reibmoment zeigte, dass Berechnungsansätze, die auf Basis der einzelnen Wälzkörperkräfte aufbauen, besser für Vierpunkt-Großwälzlager geeignet sind. Ein wichtiger Faktor zur Bestimmung der einzelnen Wälzkörperkräfte ist die Betrachtung der Verformungen der Lagerringe sowie die Kippmomenten-Belastung. Schwerpunkt in der Arbeit liegt in der Entwicklung eines Berechnungsansatzes, der mit einem geringen Rechenaufwand möglichst exakt die einzelnen Wälzkörperkräfte berechnet. Als Grundlage hierfür wird die Mehrkörpersimulation verwendet. An einem Beispiel aus der Praxis wird der neu entwickelte Berechnungsansatz aufgezeigt. Reale Versuche an einem Großwälzlagerprüfstand sichern die Berechnungsergebnisse ab.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

Dissertation TU Bergakademie Freiberg

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-949X

ISBN 978-3-18-344701-5

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Angewandte Forschung der Technischen Hochschule Ingolstadt. Die Promotion wurde im Verbund mit dem Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung der Technischen Universität Bergakademie Freiberg ausgeführt.

Für die Übernahme der Aufgabe des Doktorvaters, sowie die Unterstützung und auch für das Interesse an diesem Thema gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger von der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

Einen weiteren Dank möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Suchandt von der Technischen Hochschule Ingolstadt aussprechen. Einerseits für die Übernahme des Zweitgutachters, aber auch für die gute fachliche Betreuung. Besonders dankbar bin ich ihm für die mir gewährten Freiheiten zur Fertigstellung dieser Arbeit, sowie auch für die grundsätzliche Möglichkeit, dass ich diese Arbeit durchführen konnte.

Außerdem danke ich den Professoren der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, die zusätzlich in der Prüfungskommission dieser Dissertation tätig waren.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Industriepartner, der Firma WMH Herion Antriebstechnik GmbH in Wolnzach mit Herrn Prof. Claude Herion an der Spitze des Unternehmens. Mein Dank geht auch an die Kollegen der Firma WMH Herion Antriebstechnik GmbH für die kollegiale Zusammenarbeit, sowie für die gute Unterstützung.

Weiterhin danke ich allen Kollegen am Zentrum für Angewandte Forschung der Technischen Hochschule Ingolstadt. Namentlich möchte ich hier Herrn Leonid Koval und Herrn Christoph Dütsch nennen. Vielen Dank an die Studenten, die mit ihren studentischen Arbeiten einen Teil zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Danken möchte ich den Mitarbeitern am Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, die mir unter anderem Unterlagen zum Ablauf der Promotion und den erforderlichen Prüfungen zur Verfügung gestellt haben.

Herzlicher Dank gilt auch den Kollegen, Verwandten und Freunden, die die Aufgabe des Korrekturlesens dieser Arbeit übernommen haben. Namentlich möchte ich hier Frau Marion Stasch nennen.

Rennertshofen, den 05.02.2018

Ritzer Stephan

Inhaltsverzeichnis

Formelverzeichnis	VII
Kurzfassung	XIII
Abstract	XIV
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Einsatzfälle	5
1.3 Literatur zum heutigen Stand der Forschung	6
1.4 Zielsetzung	9
2 Analyse und grundlegende Betrachtungen	11
2.1 Eingesetzter Prüfaufbau zur Analyse der Berechnungsverfahren	12
2.2 Hertz'sche Theorie	13
2.3 Statische Tragfähigkeit	15
2.4 Lagersteifigkeit	18
2.4.1 Einfluss der Lagerringverformung auf die Lagersteifigkeit	20
2.4.2 Versuchsergebnisse zur Nachgiebigkeit des Großwälzlagers	24
2.5 Lagerlebensdauer	25
2.6 Lagerreibung	26
2.6.1 Stand der Technik zur Berechnung des Reibmomentes	27
2.6.2 Versuchsergebnisse	29
2.6.3 Analyse der Berechnung des Reibmomentes	31
2.6.4 Herleitung eines Berechnungsmodells basierend auf den einzelnen Wälzkörperbelastungen	33
2.7 Iterativer Berechnungsansatz zur Ermittlung der Wälzkörperkräfte	36
3 Entwicklung des Simulationsansatzes	42
3.1 Aufbau der Simulation mittels Mehrkörpersimulation	44
3.1.1 Simulation des Steifigkeitsverhaltens am Wälzkontakt	45
3.1.2 Geometrische Kontur der Lagerringe und Wälzkörper	48
3.1.3 Berücksichtigung der Elastizität der Lagerringe	49

3.1.4	Berücksichtigung der Änderung der Lage des Kontaktpunk- tes Wälzkörper zur Laufbahn	52
3.2	Berechnungsablauf	53
3.3	Allgemeine Betrachtungen der Verformungen der Lagerringe	56
3.4	Vier-Kugel-Modell	63
3.4.1	Erarbeitung der Anzahl und Lage der Masterpunkte	65
3.4.2	Vergleich der Simulationsergebnisse	72
3.5	Vereinfachtes Lagermodell	74
3.6	Numerische Stabilisierung der Wälzkörper durch Federelemente	79
3.7	Auswertung der Wälzkörperbelastungen	80
3.8	Simulation Großwälzlager	81
3.8.1	Anbindung und Berücksichtigung der Anschlusskonstruktion	83
3.8.2	Bestimmung der simulationstechnischen Parameter	85
3.8.3	Anbindung der Krafteinleitung	87
3.8.4	Simulation des Steifigkeitsverhaltens	88
3.8.5	Simulation der Wälzkörperkräfte	91
4	Gesamtsimulation am Praxisbeispiel	93
4.1	Beschreibung des Praxisbeispiels	93
4.2	Bestimmung der Simulationsparameter	97
4.3	Aufbau, Durchführung und Validierung der Simulation	98
4.4	Anwendung der Wälzkörperkräfte auf lagerrelevante Berechnungen	100
5	Zusammenfassung und Ausblick	111
Anhang		115
A	Abmessungen Blattlager	115
B	Theoretische Berechnung der Lagerringverschiebung	116
C	Reibmoment	117
D	Großwälzlager	118
E	Mittlerer Steifigkeitsfaktor am Wälzkontakt	120
Literaturverzeichnis		121

Formelverzeichnis

Selten benutzte Formelzeichen sind ausschließlich im Text erläutert.

Lateinische Notation

A	mm ²	Fläche
$a_1, a_2, a_3 - a_k$	-	Faktoren für die Lebensdauer von Wälzlagern
a_4	-	Life Modification Factor for Flexible Support Structure
b_m	-	Faktor zur Bestimmung der dynamischen Tragzahl
C_a	N	dynamische Tragzahl
$C_{a,h}$	N	reduzierte dynamische Tragzahl bzgl. des Härteeinflusses
C_{max}	Ns/mm	Dämpfungskoeffizient am Kontakt
C_0	N	statische Tragzahl
D_A	mm	Lageraußendurchmesser
D_{Aa}	mm	Durchmesser des Lageraußenringes am Außendurchmesser
D_{Ai}	mm	Durchmesser des Lageraußenringes am Innendurchmesser
D_i	mm	Lagerinnendurchmesser
D_{Ia}	mm	Durchmesser des Lagerinnenringes am Außendurchmesser
D_{Ii}	mm	Durchmesser des Lagerinnenringes am Innendurchmesser
D_{pw}	mm	Teilkreisdurchmesser
D_w	mm	Wälzkörperdurchmesser
$D_{w,neu}$	mm	korrigierter Wälzkörperdurchmesser
e	-	Exponent der Kontaktsteifigkeit
E	N/mm ²	E-Modul
F	N	allgemein Belastung
F_a	N	Axialkraft
f_{cm}	-	geometrischer Hilfswert zur Berechnung der dynamischen Tragzahl
f_H	-	Minderungsfaktor bezüglich der Härte für Lebensdauer
F_k	N	Wälzkörperkraft bzw. Kontaktkraft am Wälzkontakt

$F_{k,a}$	N	Wälzkörperkraft aufgrund axialer Belastung
$F_{k,i}$	N	Kontaktkraft am Wälzkontakt eines einzelnen Wälzkörpers i
$F_{k,max}$	N	maximale Wälzkörperkraft
F_{kr}	N	radiale Komponente der Kräfte am Wälzkontakt
$F_{kres,i}$	N	resultierende Belastung eines einzelnen Wälzkörpers i
$F_{k,tat}$	N	tatsächliche Wälzkörperkraft
$F_{kx,i}$	N	Belastungskomponente eines einzelnen Wälzkörpers i in x-Richtung
$F_{ky,i}$	N	Belastungskomponente eines einzelnen Wälzkörpers i in y-Richtung
$F_{kz,i}$	N	Belastungskomponente eines einzelnen Wälzkörpers i in z-Richtung
F_r	N	Radialkraft
F_{res}	N	resultierende Lagerkraft
f_s	-	Abminderungsfaktor für die Härte des Werkstoffes in der statischen Tragfähigkeit
F_x	N	Radialkraft in x-Richtung
F_y	N	Radialkraft in y-Richtung
G_a	mm	Axialspiel
G_r	mm	Radialspiel
H	mm	Höhe des Wälzlagers
HV	-	Härte in Vickers
K_A	N/mm ^{1,5}	mittlerer Steifigkeitsfaktor am Wälzkontakt
K_{Aa}	N/mm ^{1,5}	Steifigkeitsfaktor am Wälzkontakt Außenring zu Wälzkörper
K_{Ai}	N/mm ^{1,5}	Steifigkeitsfaktor am Wälzkontakt Innenring zu Wälzkörper
k_{ij}	1/mm	Kehrwert der Krümmung am Wälzkontakt i=1,2; j=1,2
L_{10}	Umdr.	nominelle Lebensdauer in Umdrehungen
L_{10h}	Std.	Lebensdauer in Stunden
M_k	Nm	Kippmoment
MKS	-	Mehrkörpersimulation
M_R	Nm	Lagerreibmoment
M_{Ra}	Nm	Lagerreibmomentanteil aufgrund der axialen Belastung
M_{Rk}	Nm	Lagerreibmomentanteil aufgrund der Kippmomentenbelastung
M_{Rl}	Nm	lastabhängiges Reibmoment
M_{R0}	Nm	Lagerreibmoment ohne Belastung
M_{Rr}	Nm	Lagerreibmomentanteil aufgrund der radialen Belastung
M_x	Nm	Kippmoment um x-Achse
M_y	Nm	Kippmoment um y-Achse

M_z	Nm	Drehmoment des Wälzlagers zum Schwenken
N	Oszt./min	Oszilationsgeschwindigkeit der Lagerschwenkbewegung
n	-	Anzahl der Laufbahnen
n_m	U/min	mittlere Wälzlagerdrehzahl
$n_{m,i}$	U/min	mittlere Wälzlagerdrehzahl eines einzelnen Belastungszyklus
O	°	Oszilationsamplitude der Lagerschwenkbewegung
O_{crit}	°	kritische Oszilationsamplitude der Lagerschwenkbewegung
p	N/mm ²	Flächenpressung
p	-	Exponent zur Bestimmung der dynamischen äquivalenten Belastung
P_{ea}	N	dynamische äquivalente Belastung
$P_{ea,i}$	N	dynamische äquivalente Belastung eines einzelnen Belastungszyklus
p_{max}	N/mm ²	maximale vorhandene Hertz'sche Pressung
$p_{max,zul}$	N/mm ²	maximale zulässige Hertz'sche Pressung
$p_{max,zul,norm}$	N/mm ²	maximale zulässige Hertz'sche Pressung nach Norm
P_0	N	statisch äquivalente Belastung
r	mm	Radius allgemein
r_A	mm	Rillenradius der Laufbahn am Lageraußenring
R_A	mm	Krümmungsradius der Laufbahn im Axialschnitt am Wälzlageraußenring
r_I	mm	Rillenradius der Laufbahn am Lagerinnenring
R_I	mm	Krümmungsradius der Laufbahn im Axialschnitt am Wälzlagerinnenring
r_{ij}	mm	Radien am Wälzkontakt $i=1,2; j=1,2$
$R_{j,i}$	mm	Abstand der Mittelpunkte der Laufbahnkrümmungen eines Wälzkörpers
R_0	mm	Abstand der Mittelpunkte der Krümmungsradien im unbelasteten Zustand
R_w	mm	Wälzkörperradius
S	Ns/mm	Funktion zur Beschreibung der Abhängigkeit des Dämpfungsverhaltens am Kontakt
S	kN/mm	Steifigkeit allgemein
S_a	kN/mm	Axiale Steifigkeit
S_k	kNm/mrad	Kippsteifigkeit
S_0	-	Kennzahl zur statischen Beanspruchung
$S_{0,Fk}$	-	Kennzahl zur statischen Beanspruchung anhand der maximal auftretenden Wälzkörperbelastung

S_0 ,Hertz	-	Kennzahl zur statischen Beanspruchung anhand der maximal auftretenden Hertz'schen Pressung
S_r	kN/mm	Radiale Steifigkeit
t_i	-	Zeitanteil eines einzelnen Belastungszyklus
T_R	Nm	Reibmoment allgemein
T_S	mm	Schalendicke der Zwischenelemente
u_j	-	Überrollungen des Lagerringes bei einer Wälzlagerumdrehung
u_x	mm	Verschiebung der Lagerringe zueinander in x-Richtung
u_y	mm	Verschiebung der Lagerringe zueinander in y-Richtung
u_z	mm	Verschiebung der Lagerringe zueinander in z-Richtung
X	-	Radialfaktor für die dynamische äquivalente Belastung
x	mm	Abstand zweier Kontaktkörper unter Belastung
\dot{x}	mm/s	Aufprall- bzw. Eindringgeschwindigkeit zweier Kontaktkörper
$X_{A,j,i}, Y_{A,j,i}, Z_{A,j,i}$	mm	Koordinaten der Mittelpunkte der Laufbahnkrümmungen des Außenringes am Wälzkontakt in x-, y- und z-Richtung
$X_{AO,i}, X_{AU,i}$	-	x-Koordinate der Masterpunkte der einzelnen Wälzkörper
$X_{I,j,i}, Y_{I,j,i}, Z_{I,j,i}$	mm	Koordinaten der Mittelpunkte der Laufbahnkrümmungen des Innenringes am Wälzkontakt in x-, y- und z-Richtung
X_0	-	Radialfaktor für die statisch äquivalente Belastung
x_0	mm	Abstand zweier Kontaktkörper ohne Belastung
$Y_{AO,i}, X_{AU,i}$	-	y-Koordinate der Masterpunkte der einzelnen Wälzkörper i
Y	-	Axialfaktor für die dynamische äquivalente Belastung
Y_0	-	Axialfaktor für die statisch äquivalente Belastung
z	-	Wälzkörperanzahl
Z_{AO}, Z_{AU}	-	z-Koordinate der Masterpunkte

Griechische Notation

α	°	Betriebsdruckwinkel
α_0	°	Nenndruckwinkel
α_i	°	Betriebsdruckwinkel eines bestimmten Wälzkörpers
γ	-	Beiwert zur Bestimmung des geometrischen Hilfswertes zur Berechnung der dynamischen Tragzahl
$\cos \tau$	-	Hilfsbeiwert zur Bestimmung der Hertz'schen Beiwerte
δ	mm	Betrag der Annäherung der Kontaktpartner
δ_A	mm	Betrag der Annäherung des Wälzkörpers zur Laufbahn am Außenring
δ_{Hertz}	mm	Betrag der Annäherung der Kontaktpartner nach Hertz

δ_I	mm	Betrag der Annäherung des Wälzkörpers zur Laufbahn am Innenring
$\Delta\alpha$	°	Änderung des Druckwinkels
ΔF	N	Änderung der Belastung
$\Delta\Theta$	°	Änderung des Kippwinkels
ΔM	Nm	Änderung der Momentenbelastung
ΔR	mm	Abstandsänderung der Krümmungsradienabstände der Laufbahnen unter Belastung
Δr_A	mm	Lagerringaufweitung am Außenring
Δr_I	mm	Lagerringstauchung am Innenring
Δu	mm	Änderung der Verschiebung
η	-	Beiwert nach Hertz
Θ	°	Kippwinkel der Lagerringe
Θ_x	°	Kippwinkel der Lagerringe um x-Achse
Θ_y	°	Kippwinkel der Lagerringe um y-Achse
κ	-	Schmiegung
κ_A	-	Schmiegung am Außenring
κ_I	-	Schmiegung am Innenring
μ	-	Reibkoeffizient
ν	-	Querkontraktionszahl
ξ	-	Beiwert nach Hertz
π	-	Kreiszahl pi
$\Sigma \kappa$	-	Summe der Krümmungen am Wälzkontakt
ψ	-	Beiwert nach Hertz

Vektoren und Matrizen

D	Dämpfungsmatrix
D_{red}	reduzierte Dämpfungsmatrix
M	Massenmatrix
M_{red}	reduzierte Massenmatrix
p	Lastvektor
p_{red}	Lastvektor eines reduzierten Systems
q	Verschiebungsvektor eines reduzierten Systems
\dot{q}	Geschwindigkeitsvektor eines reduzierten Systems
\ddot{q}	Beschleunigungsvektor eines reduzierten Systems
S	Steifigkeitsmatrix
S_{red}	reduzierte Steifigkeitsmatrix

T	Transformationsmatrix
u	Verschiebungsvektor
\dot{u}	Geschwindigkeitsvektor
\ddot{u}	Beschleunigungsvektor

Kurzfassung

Die Berechnung von Vierpunkt-Großwälzlager erfolgt heutzutage mit Berechnungsverfahren nach DIN Normen, die in der Regel für kleinere Standardwälzlager entwickelt wurden. Zur Berücksichtigung der Unterschiede, die zwischen einem Vierpunkt-Großwälzlager und einem Standardwälzlager vorliegen, werden üblicherweise pauschale Abminderungsfaktoren verwendet. Diese haben aber oftmals eine Überdimensionierung des Wälzlagers zur Folge.

Zu Beginn der Arbeit werden die Berechnungsansätze zur Bestimmung der statischen Tragfähigkeit, der Steifigkeit, der Lebensdauer und des Reibmomentes für den speziellen Anwendungsfall „Vierpunkt-Großwälzlager“ näher betrachtet. Dabei zeigt sich, dass Berechnungsansätze, die die einzelnen Wälzkörperkräfte berücksichtigen, besser für Vierpunkt-Großwälzlager geeignet sind als die heutzutage üblichen Standardberechnungsverfahren. Die Ermittlung der exakten Wälzkörperkräfte ist jedoch in diesen Ansätzen die größte Schwierigkeit, da die Verformungen der Lagerringe, die unter einer Belastung entstehen, beachtet werden müssen. Zur Berechnung der Wälzkörperkräfte gibt es bereits iterative Rechenansätze, die jedoch nur mit sehr großem Aufwand die Verformung der Lagerringe berücksichtigen.

Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit speziell für Vierpunkt-Großwälzlager ein Berechnungsansatz erarbeitet, der die Wälzkörperkräfte im Inneren des Vierpunkt-Großwälzlagers berechnet und dabei das Verformungsverhalten der Lagerringe im Zusammenhang mit der Verformung der Anschlusskonstruktion berücksichtigt. Als grundlegender Ansatz hierfür wird die Mehrkörpersimulation verwendet. Mit ihr kann die Abbildung des Kontaktverhaltens zwischen den einzelnen Wälzkörpern und den Laufbahnen der Lagerringe einfach gestaltet werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Grundlage für einen neuen Berechnungsansatz zu schaffen, der als einfaches Handwerkzeug bereits sehr früh im Konstruktionsprozess zur Berechnung der einzelnen Wälzkörperkräfte verwendet werden kann. An einem Beispiel aus der Praxis wird der neu entwickelte Berechnungsansatz aufgezeigt.

Schlagwörter: Vierpunkt-Großwälzlager, Kugeldrehverbindung, Simulation von Wälzkörperkräften, Mehrkörpersimulation

Abstract

Nowadays, the calculation of four-point slewing bearings is normally carried out with calculation methods in accord with DIN standards, which have been developed for smaller standard bearings in the first place. For the consideration of the differences between a four-point slewing bearing and a standard bearing normal reduction factors are used. In many cases, however, the consequences are over dimensions of the bearing.

At the beginning of the work process the basic approach of the calculation of the load capacity, the stiffness, the life cycle time and the friction for special application ‘four-point slewing bearing’ are examined more closely. This reveals that calculation methods, based on a calculation of the individual ball forces, are more suitable for the calculation of the four-point slewing bearings than the standard calculation methods which are commonly used these days. However, the determination of the exact ball forces is the greatest difficulty in these approaches. The bearing rings of a four-point slewing bearing often have larger deformations; this factor needs to be included in the calculation. Iterative calculation methods for the calculation of these ball loads do already exist, nevertheless it is a large effort to consider the deformation of the bearing rings in this method.

For this reason, a calculation approach especially for four-point slewing bearings is developed in this work which calculates the ball force inside the four-point slewing bearing and considers the deformation behavior of the bearing rings in connection with the deformation of the connector construction. The multi-body-simulation is used as a basis for this calculation method, because the reproduction of the contact behavior between the individual rolling elements and the raceways of the bearing rings can be simulated very simply that way.

The aim of this work is creating the basis for a new calculation method, which can even be used at an elementary stages as a simple hand tool of the design process for calculating the various ball forces of slewing bearings. They can be used in separate calculations, e.g. for calculating the static load carrying capacity. This newly developed method is shown in a practical example.

Tags: four-point slewing bearing, ball bearing slewing ring, simulating ball forces, multi-body-simulation