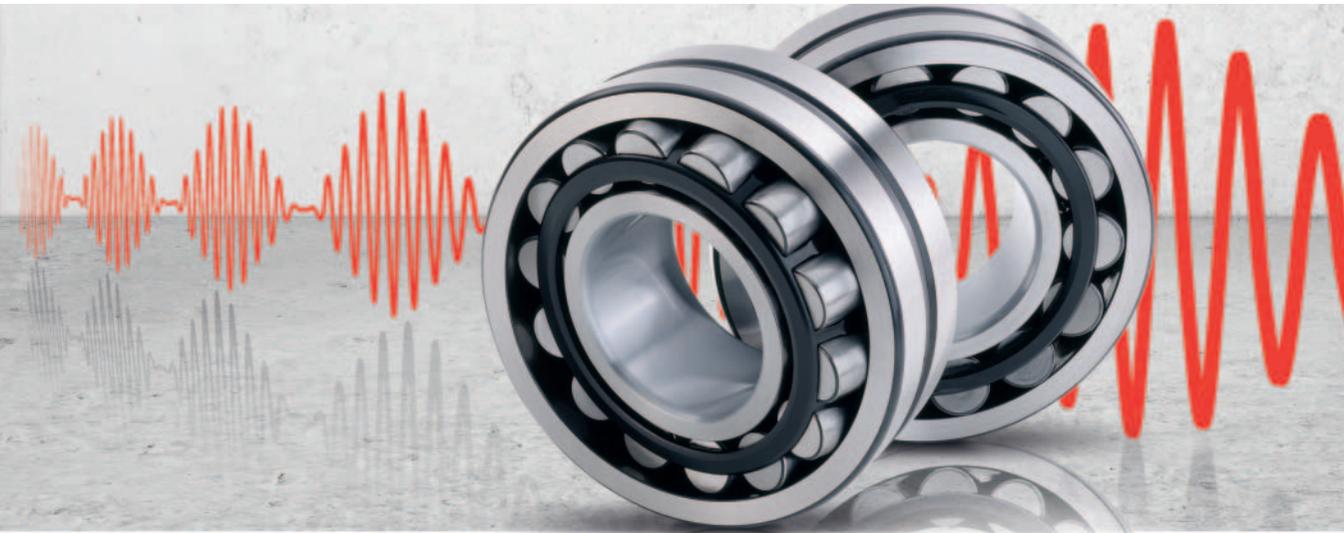


FAG



FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

SCHAEFFLER

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Merkmale	
Einsatzbedingungen für Lager in Schwingmaschinen	2
Grundausführungen der FAG-Spezial-Pendelrollenlager	2
X-life-Pendelrollenlager 223..-E1-XL-T41A(D)	3
X-life-Pendelrollenlager 223..-BE-XL-JPA-T41A	3
Lager mit kegeliger Bohrung	4
Lager mit beschichteter Bohrung	4
Spezifikation T41A (T41D)	5
Toleranzen der Lagerbohrung und des Außendurchmessers	5
Radialluftgruppen	6
Radialluftverminderung bei Lagern mit kegeliger Bohrung	6
Zulässige Radialbeschleunigung	10
Wärmebehandlung	10
Konstruktions- und Sicherheits Hinweise	
Dimensionierung der Lager	11
Berechnungsverfahren	11
Nominelle Lebensdauer	11
Erweiterte Lebensdauer	13
Freischwinger mit kreisförmiger Schwingbewegung	15
Freischwinger mit linearer Schwingbewegung	18
Exzentrersieb	21
Fliehkraftnomogramm	23
Tragzahlnomogramm	25
Konstruktive Gestaltung der Lagerstellen	27
Freischwinger mit kreisförmiger Schwingbewegung	27
Freischwinger mit linearer Schwingbewegung	31
Starrschwinger	32
Schmierung der Lager	34
Fettschmierung	34
Ölschmierung	38
Empfohlene Schmierstoffe	42
Überwachung von Schwingsieben	43
Maßtabellen	
FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen, mit zylindrischer Bohrung, Reihe 223..-E1-XL-T41A(D), Reihe 223..-BE-XL-JPA-T41A	46
Anhang	
Abfrage zur Lagerberechnung	48

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Merkmale Einsatzbedingungen für Lager in Schwingmaschinen

Schwingsiebe zum Klassieren von Gütern, also dem Trennen von Feststoffen nach der Korngröße, und weitere Vibrationsaggregate, wie Straßenwalzen und Sägegatter, gehören zu den am stärksten beanspruchten Maschinen.

Die Wälzlager in den Erregereinheiten dieser Maschinen müssen neben hohen Belastungen und hohen Drehzahlen auch Beschleunigungen und Zentrifugalkräfte aufnehmen. Vielfach liegen zudem ungünstige Umweltbedingungen vor wie zum Beispiel eine verschmutzte Umgebung und zu hohe Luftfeuchtigkeit.

Die von FAG entwickelten FAG-Spezial-Pendelrollenlager sind auf die Betriebsbedingungen in Schwingmaschinen abgestimmt und haben sich im praktischen Einsatz bestens bewährt.

Besonders beansprucht werden die Käfige der Wälzlager durch hohe Radialbeschleunigungen. In ungünstigen Fällen können auch Axialbeschleunigungen überlagert sein.

Die rotierende Unwucht erzeugt eine umlaufende Wellendurchbiegung und in den Lagern zusätzliche Gleitbewegungen. Dadurch erhöht sich die Reibung und damit die Betriebstemperatur der Lager. Die FAG-Spezial-Pendelrollenlager können dynamische Winkelfehler bis $0,15^\circ$ aufnehmen. Bei größeren Schiefstellungen wenden Sie sich bitte an die Anwendungstechnik von Schaeffler.

Grundausführungen der FAG-Spezial-Pendelrollenlager

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen haben die Hauptabmessungen der Maßreihe 23 (DIN EN 616:1995-01, ISO 15). Für die besonderen Beanspruchungen in Schwingmaschinen fertigen wir alle in dieser Publikation beschriebenen FAG-Spezial-Pendelrollenlager nach der Spezifikation T41A oder T41D, siehe Seite 5.

Höchste Tragfähigkeit durch beste Querschnittsausnutzung bieten die weiterentwickelten Pendelrollenlager der Reihe 223..-E1-XL in X-life-Qualität. In der Ausführung für schwingende Beanspruchung werden diese Lager bis 220 mm Bohrungsdurchmesser geliefert.

**X-life-Pendelrollenlager
223..-E1-XL-T41A(D)**

FAG-Pendelrollenlager in der E1-Ausführung mit einem bordlosen Innenring zeichnen sich durch höchste Tragfähigkeit aus. Diesen Vorteil bieten auch die FAG-Speziallager für schwingende Beanspruchung der Reihe 223..-E1-XL mit dem Nachsetzzeichen T41A oder T41D, *Bild 1*.

Dies sind die FAG-Standardausführungen für Lager mit einem Bohrungsdurchmesser von 40 mm bis einschließlich 150 mm (Bohrungskennzahlen 08 bis 30).

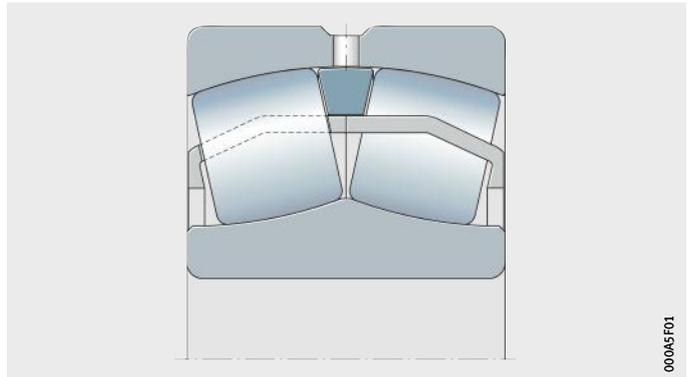
Nach umfangreicher Erprobung in Versuchs- und Feldtests haben sich die Lager der X-life-Ausführung 223..-E1-XL-T41A(D) in zahlreichen praktischen Einsatzfällen bestens bewährt.

Das Lager hat pro Rollenreihe eine Fensterkäfighälfte aus Stahlblech mit hoher Gestaltfestigkeit. Die Käfighälften stützen sich über den Käfigführungsring im Außenring ab. Der Führungsring ist einteilig ausgeführt. Alle Käfigteile sind speziell oberflächengehärtet.

**X-life-Pendelrollenlager
223..-BE-XL-JPA-T41A**

Die Lager mit einem Bohrungsdurchmesser von 160 mm bis 220 mm (Bohrungskennzahl 32 bis 44) werden ebenfalls in der beschriebenen Ausführung geliefert, *Bild 1*. Auch diese Lager entsprechen unserem bewährten X-life-Standard. Im Nachsetzzeichen dieser größeren Lager wird der Stahlblechkäfig JPA angegeben.

Bild 1
X-life-Ausführungen
223..-E1-XL-T41A(D) und
223..-BE-XL-JPA-T41A
der FAG-Spezial-Pendelrollenlager
für Schwingmaschinen



000A5 F01

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Lager mit kegeliger Bohrung

Für besondere Fälle, zum Beispiel den Einsatz in Sägegattern, werden auch Lager mit kegeliger Bohrung (Kegel 1:12) geliefert. Die Bestellbezeichnungen sind 223...E1-XL-K-T41A beziehungsweise 223...BE-XL-K-JPA-T41A. Sie sind ab einem Bohrungsdurchmesser von 160 mm erhältlich.

Lager mit beschichteter Bohrung

Um Reibkorrosion zwischen der Lagerbohrung und der Welle zu vermindern oder zu vermeiden, sind auftragsbezogen Pendelrollenlager lieferbar, deren zylindrische Bohrung mit Durotect CK beschichtet ist. Damit ist sichergestellt, dass die aufgrund thermischer Einflüsse notwendige Verschiebemöglichkeit (Loslagerfunktion) zwischen Lagerbohrung und Welle über eine lange Betriebsdauer hinweg erhalten bleibt.

Die Lager mit beschichteter Bohrung entsprechen in ihren Abmessungen und Toleranzen den FAG-Standardlagern für Schwingmaschinen und sind mit diesen austauschbar.

Bei den Lagern 22317-E1-XL-T41D bis 22330-E1-XL-T41D wird die mit Durotect CK beschichtete zylindrische Bohrung standardmäßig gefertigt. Nähere Informationen dazu enthält unsere Druckschrift PPD, FAG-Spezial-Pendelrollenlager mit Durotect-CK-Beschichtung in der Bohrung.

Bei Lagern außerhalb dieses Größenbereiches muss für eine beschichtete Innenringbohrung das Nachsetzzeichen J24BA in der Bestellbezeichnung angegeben werden.

Bestellbeispiel für ein Lager mit Durotect-CK-beschichteter Bohrung:

- Innerhalb des Standardbereichs:
22320-E1-XL-T41D
- Außerhalb des Standardbereichs:
22316-E1-XL-J24BA-T41A.

Spezifikation T41A (T41D)

Die FAG-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen werden nach der Spezifikation T41A oder T41D gefertigt. Diese berücksichtigt die besonderen Anforderungen des Anwendungsfalles.

In der Spezifikation sind unter anderem die Toleranzen von Bohrung und Außendurchmesser sowie die Radialluft der Lager festgelegt. Die übrigen Toleranzen entsprechen der Toleranzklasse PN nach DIN 620.

Toleranzen der Lagerbohrung und des Außendurchmessers

Die Spezifikation T41A(D) schreibt eine Einengung der Bohrungstoleranz auf etwa die obere Hälfte des normalen Toleranzfeldes vor. Für den Außendurchmesser ist nur der mittlere Bereich des Normal-Toleranzfeldes zulässig. Bei Lagern mit kegelliger Bohrung hat nur der Außendurchmesser den verkleinerten Toleranzbereich, siehe Tabellen. Durch diese Maßnahmen werden mit den Wellentoleranzen g6 oder f6 der für den Innenring erforderliche Schiebesitz und mit der Gehäusetoleranz P6 der erforderliche Festsitz für den Außenring sicher erreicht. Bei beschichteter Bohrung empfehlen wir, die Wellentoleranz f6 zu verwenden. Der Innenring hat keine eindeutige Punktlast, der Außenring wird durch Umfangslast beansprucht. Form- und Lagetoleranzen der Lagersitzflächen, siehe Tabelle, Seite 6.

Toleranzen des Innenrings

Bohrung d mm		Abweichung der Bohrung $t_{\Delta dmp}$ μm	
über	bis	max.	bis
30	50	0	-7
50	80	0	-9
80	120	0	-12
120	180	0	-15
180	250	0	-18
250	315	0	-21

Toleranzen des Außenrings

Außendurchmesser D mm		Abweichung des Außendurchmessers $t_{\Delta Dmp}$ μm	
über	bis	max.	bis
80	150	-5	-13
150	180	-5	-18
180	315	-10	-23
315	400	-13	-28
400	500	-13	-30
500	630	-15	-35

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Für die gewünschte Passung müssen die Lagersitze und Passflächen von Welle und Gehäusebohrung bestimmte Toleranzen einhalten, siehe Tabelle.

Form- und Lagetoleranzen der Lagersitzflächen

Lagersitzfläche	Durchmesser-toleranz	Rundheits-toleranz	Parallelitäts-toleranz	Planlauf-toleranz der Anlageschulter
Welle	IT6 (IT5)	Umfangslast IT4/2	IT4	IT4
		Punktlast IT5/2	IT5	
Gehäuse	IT7 (IT6)	Umfangslast IT5/2	IT5	IT5
		Punktlast IT6/2	IT6	

Radialluftgruppen

Die Spezifikation T41A(D) schreibt Group 4 als Standardluftgruppe für alle Pendelrollenlager in Schwingsiebausführung vor, so dass die offene Anschreibung entfällt. Damit wird eine radiale Verspannung der Lager beim ungünstigen Zusammentreffen der verschiedenen Einflüsse wie Passungen, Verformungen und so weiter sicher vermieden. Dies gilt insbesondere für die Anfahr- und Einlaufphasen, bei denen die größten Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenring auftreten.

Nur in seltenen Fällen, zum Beispiel bei heißem Siebgut und übermäßiger Fremderwärmung der Lagerstelle, muss die Radialluft für Pendelrollenlager in Schwingmaschinen gesondert betrachtet werden. Für spezielle Anwendungen, beispielsweise Sägegatter, können auch Lager mit einer anderen Lagerluft als Group 4 erforderlich sein. Das Nachsetzzeichen für die Radialluft, zum Beispiel Group 3, ist dann offen anzuschreiben. Lager dieser Ausführung liefern wir auf Anfrage. Radialluftwerte für die FAG-Spezial-Pendelrollenlager, siehe Tabelle, Seite 8.

Radialluftverminderung bei Lagern mit kegeliger Bohrung

Lager mit kegeliger Bohrung werden auf einem konischen Wellensitz oder mit einer Hülse auf einer zylindrischen Welle montiert. Die Verminderung der Radialluft beim Montagevorgang kann als Maß für den Sitzcharakter zwischen Innenring und Welle genommen werden, siehe Tabelle, Seite 8.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Radialluftverminderung bei FAG-Pendelrollenlagern mit kegeliger Bohrung

Nennmaß der Lagerbohrung		Radialluft vor dem Einbau Luftgruppe					
d mm		Group N mm		Group 3 mm		Group 4 mm	
über	bis	min.	max.	min.	max.	min.	max.
24	30	0,03	0,04	0,04	0,055	0,055	0,075
30	40	0,035	0,05	0,05	0,065	0,065	0,085
40	50	0,045	0,06	0,06	0,08	0,08	0,1
50	65	0,055	0,075	0,075	0,095	0,095	0,12
65	80	0,07	0,095	0,095	0,12	0,12	0,15
80	100	0,08	0,11	0,11	0,14	0,14	0,18
100	120	0,1	0,135	0,135	0,17	0,17	0,22
120	140	0,12	0,16	0,16	0,2	0,2	0,26
140	160	0,13	0,18	0,18	0,23	0,23	0,3
160	180	0,14	0,2	0,2	0,26	0,26	0,34
180	200	0,16	0,22	0,22	0,29	0,29	0,37
200	225	0,18	0,25	0,25	0,32	0,32	0,41
225	250	0,2	0,27	0,27	0,35	0,35	0,45
250	280	0,22	0,3	0,3	0,39	0,39	0,49
280	315	0,24	0,33	0,33	0,43	0,43	0,54
315	355	0,27	0,36	0,36	0,47	0,47	0,59
355	400	0,3	0,4	0,4	0,52	0,52	0,65
400	450	0,33	0,44	0,44	0,57	0,57	0,72
450	500	0,37	0,49	0,49	0,63	0,63	0,79
500	560	0,41	0,54	0,54	0,68	0,68	0,87
560	630	0,46	0,6	0,6	0,76	0,76	0,98
630	710	0,51	0,67	0,67	0,85	0,85	1,09
710	800	0,57	0,75	0,75	0,96	0,96	1,22
800	900	0,64	0,84	0,84	1,07	1,07	1,37
900	1 000	0,71	0,93	0,93	1,19	1,19	1,52
1 000	1 120	0,78	1,02	1,02	1,3	1,3	1,65
1 120	1 250	0,86	1,12	1,12	1,42	1,42	1,8
1 250	1 400	0,94	1,22	1,22	1,55	1,55	1,96

- 1) Gilt nur für Vollwellen aus Stahl und für Hohlwellen, deren Bohrung nicht größer ist als der halbe Wellendurchmesser.
Es gilt: Lager, deren Radialluft vor dem Einbau in der oberen Hälfte des Toleranzbereichs liegt, montiert man mit dem größeren Wert der Radialluftverminderung oder des axialen Verschiebewegs, Lager in der unteren Hälfte des Toleranzbereichs mit dem kleineren Wert der Radialluftverminderung oder des axialen Verschiebewegs.
- 2) Der Kontrollwert für die Radialluft darf nicht unterschritten werden.
Bei Lagern mit kleinerem Durchmesser ist er unter Umständen nur schwer zu ermitteln.

Verminderung der Radialluft ¹⁾ mm		Verschiebeweg auf dem Kegel 1:12 ¹⁾				Verschiebeweg auf dem Kegel 1:30 ¹⁾				Kontrollwert für die Radialluft nach dem Einbau ²⁾		
		Welle mm		Hülse mm		Welle mm		Hülse mm		Group N mm	Group 3 mm	Group 4 mm
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	min.	min.
0,015	0,02	0,3	0,35	0,3	0,4	–	–	–	–	0,015	0,02	0,035
0,02	0,025	0,35	0,4	0,35	0,45	–	–	–	–	0,015	0,025	0,04
0,025	0,03	0,4	0,45	0,45	0,5	–	–	–	–	0,02	0,03	0,05
0,03	0,04	0,45	0,6	0,5	0,7	–	–	–	–	0,025	0,035	0,055
0,04	0,05	0,6	0,75	0,7	0,85	–	–	–	–	0,025	0,04	0,07
0,045	0,06	0,7	0,9	0,75	1	1,7	2,2	1,8	2,4	0,035	0,05	0,08
0,05	0,07	0,7	1,1	0,8	1,2	1,9	2,7	2	2,8	0,05	0,065	0,1
0,065	0,09	1,1	1,4	1,2	1,5	2,7	3,5	2,8	3,6	0,055	0,08	0,11
0,075	0,1	1,2	1,6	1,3	1,7	3	4	3,1	4,2	0,055	0,09	0,13
0,08	0,11	1,3	1,7	1,4	1,9	3,2	4,2	3,3	4,6	0,06	0,1	0,15
0,09	0,13	1,4	2	1,5	2,2	3,5	4,5	3,6	5	0,07	0,1	0,16
0,1	0,14	1,6	2,2	1,7	2,4	4	5,5	4,2	5,7	0,08	0,12	0,18
0,11	0,15	1,7	2,4	1,8	2,6	4,2	6	4,6	6,2	0,09	0,13	0,2
0,12	0,17	1,9	2,6	2	2,9	4,7	6,7	4,8	6,9	0,1	0,14	0,22
0,13	0,19	2	3	2,2	3,2	5	7,5	5,2	7,7	0,11	0,15	0,24
0,15	0,21	2,4	3,4	2,6	3,6	6	8,2	6,2	8,4	0,12	0,17	0,26
0,17	0,23	2,6	3,6	2,9	3,9	6,5	9	5,8	9,2	0,13	0,19	0,29
0,2	0,26	3,1	4,1	3,4	4,4	7,7	10	8	10,4	0,13	0,2	0,31
0,21	0,28	3,3	4,4	3,6	4,8	8,2	11	8,4	11,2	0,16	0,23	0,35
0,24	0,32	3,7	5	4,1	5,4	9,2	12,5	9,6	12,8	0,17	0,25	0,36
0,26	0,35	4	5,4	4,4	5,9	10	13,5	10,4	14	0,2	0,29	0,41
0,3	0,4	4,6	6,2	5,1	6,8	11,5	15,5	12	16	0,21	0,31	0,45
0,34	0,45	5,3	7	5,8	7,6	13,3	17,5	13,6	18	0,23	0,35	0,51
0,37	0,5	5,7	7,8	6,3	8,5	14,3	19,5	14,8	20	0,27	0,39	0,57
0,41	0,55	6,3	8,5	7	9,4	15,8	21	16,4	22	0,3	0,43	0,64
0,45	0,6	6,8	9	7,6	10,2	17	23	18	24	0,32	0,48	0,7
0,49	0,65	7,4	9,8	8,3	11	18,5	25	19,6	26	0,34	0,54	0,77
0,55	0,72	8,3	10,8	9,3	12,1	21	27	22,2	28,3	0,36	0,59	0,84

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Zulässige Radialbeschleunigung

Die radiale Abstützung der Fliehkräfte zum Außenring erlaubt hohe Beschleunigungswerte für die FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen, *Bild 2*.

Zulässige Radialbeschleunigungswerte der FAG-Spezial-Pendelrollenlager für die Maßreihen 223 (n = Betriebsdrehzahl, d_M = mittlerer Lagerdurchmesser):

- $n \cdot d_M = 350\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
maximal mögliche Werte unter optimalen Einbaubedingungen und Ölschmierung, zum Beispiel Planetengetriebe
- $n \cdot d_M = 140\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
übliche Einsatzbedingungen für Sägegatter mit Fettschmierung
- $n \cdot d_M = 230\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ bis $300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
übliche Einsatzbedingungen für Schwingsiebe mit Fett- oder Ölschmierung.

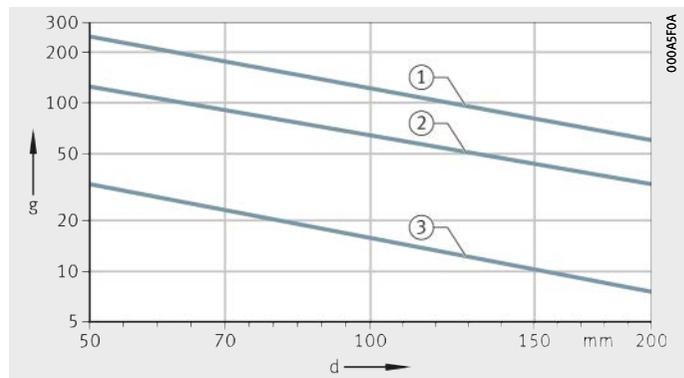
g = Erdbeschleunigung
 d = Lagerdurchmesser

- ① $n \cdot d_M = 350\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
- ② $n \cdot d_M = 140\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
- ③ $n \cdot d_M = 230\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
bis $300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$

Bild 2
Zulässige Radialbeschleunigung

Wärmebehandlung

Alle FAG-Pendelrollenlager der Reihen 223..-E1-XL-T41A(D) und 223..-BE-XL-JPA-T41A für schwingende Beanspruchung sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von +200 °C maßstabil sind.



Konstruktions- und Sicherheitshinweise

Dimensionierung der Lager

Schwingsiebblager legt man meist für eine nominelle Lebensdauer zwischen 10 000 Stunden und 20 000 Stunden aus.

Bei der Bestimmung der dynamischen äquivalenten Belastung P der Pendelrollenlager für schwingende Beanspruchung werden die nicht genau definierbaren Einflüsse durch einen Sicherheitsfaktor f_z von 1,2 zur radialen Lagerbelastung F_r berücksichtigt. Damit ergeben sich erfahrungsgemäß ausreichende Laufzeiten. Für genauere Rechnungen ermittelt man die erweiterte modifizierte Lebensdauer L_{hnm} nach ISO 281. Die dazu erforderliche Ermüdungsgrenzbelastung C_{ur} ist in den Maßtabellen angegeben.

Berechnungsverfahren

Verfahren zur Berechnung der Lebensdauer sind unter anderem die:

- Nominelle Lebensdauer L_{10} und L_{10h} nach ISO 281
- Erweiterte Lebensdauer L_{nm} und L_{nmh} nach ISO 281.

Nominelle Lebensdauer

Die nominelle Lebensdauer L_{10} und L_{10h} ergibt sich aus:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$L_{10h} = \frac{16\,666}{n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

L_{10} 10^6 Umdrehungen

Nominelle Lebensdauer in Millionen Umdrehungen, die von 90% einer genügend großen Menge gleicher Lager erreicht oder überschritten wird, bevor erste Anzeichen einer Werkstoffermüdung auftreten

C N

Dynamische Tragzahl

P N

Dynamische äquivalente Lagerbelastung für Radial- und Axiallager

p –

Lebensdauerexponent;

für Rollenlager: $p = 10/3$

für Kugellager: $p = 3$

L_{10h} h

Nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden entsprechend der Definition für L_{10}

n min^{-1}

Betriebsdrehzahl.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Dynamische äquivalente Lagerbelastung

Die dynamische äquivalente Belastung P ist ein rechnerischer Wert. Dieser Wert ist eine in Größe und Richtung konstante Radiallast bei Radiallagern oder Axiallast bei Axiallagern.

Eine Belastung mit P ergibt die gleiche Lebensdauer wie die tatsächlich wirkende kombinierte Belastung.

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

P	N
Dynamische äquivalente Lagerbelastung	
X	–
Radialfaktor aus den Maßtabellen oder der Beschreibung des Produktes	
F_r	N
Radiale dynamische Lagerbelastung	
Y	–
Axialfaktor aus den Maßtabellen oder der Beschreibung des Produktes	
F_a	N
Axiale dynamische Lagerbelastung.	



Diese Berechnung ist nicht anwendbar für Radial-Nadellager sowie Axial-Nadellager und Axial-Zylinderrollenlager! Bei diesen Lagern sind kombinierte Belastungen nicht zulässig! Für rein radial belastete Radial-Nadellager gilt $P = F_r$ und bei rein axialer Belastung gilt für Axial-Nadel- und Axial-Zylinderrollenlager $P = F_a$!

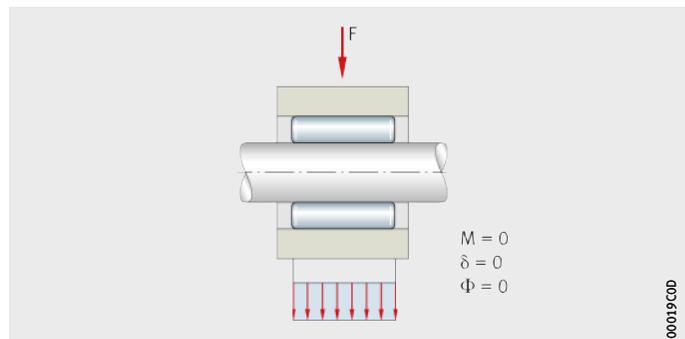
Einflussfaktoren

Einflussfaktoren können sein, *Bild 3*:

- Lagerausrichtung
- Lagerbelastungen
- Betriebsspiel
- Verkipfung und Momentenbelastung
- Schmierung und Verschmutzung.

F = Belastung
 M = Drehmoment
 δ = Radiale Einfederung
 Φ = Verkipfungswinkel

Bild 3
 Berechnungsmodell



Erweiterte Lebensdauer

Die Berechnung der erweiterten Lebensdauer L_{nm} und L_{nmh} wurde erstmals in der DIN ISO 281 Beiblatt 1 genormt. Seit 2007 ist sie in der weltweiten Norm ISO 281 genormt.

Die computergestützte Berechnung nach DIN ISO 281 Beiblatt 4 ist seit 2008 in der ISO/TS 16281 spezifiziert und in DIN 26281 genormt.

Die Lebensdauer L_{nm} und L_{nmh} wird berechnet nach:

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10}$$

$$L_{nmh} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10h}$$

L_{nm} 10^6 Umdrehungen

Erweiterte Lebensdauer nach ISO 281

a_1 –

Lebensdauerbeiwert für eine Erlebenswahrscheinlichkeit, die von 90% abweicht

Erlebenswahrscheinlichkeit 90% (L_{10m}) $a_1 = 1$

Erlebenswahrscheinlichkeit 95% (L_{5m}) $a_1 = 0,64$

Erlebenswahrscheinlichkeit 99% (L_{1m}) $a_1 = 0,25$

a_{ISO} –

Lebensdauerbeiwert für die Betriebsbedingungen

L_{10} 10^6 Umdrehungen

Nominelle Lebensdauer

L_{nmh} h

Erweiterte Lebensdauer in Betriebsstunden

L_{10h} h

Nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden

entsprechend der Definition für L_{10} .

Die Werte für den Lebensdauerbeiwert a_1 wurden in ISO 281:2007 neu festgelegt und unterscheiden sich von den bisherigen Angaben.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Lebensdauerbeiwert a_{ISO}

Das genormte Rechenverfahren für den Lebensdauerbeiwert a_{ISO} berücksichtigt im Wesentlichen:

- Die Belastung des Lagers
- Den Schmierzustand (Viskosität und Art des Schmierstoffs, Drehzahl, Lagergröße, Additive)
- Die Ermüdungsgrenze des Werkstoffs
- Die Bauart des Lagers
- Die Eigenspannung des Werkstoffs
- Die Umgebungsbedingungen
- Die Verunreinigung des Schmierstoffs.

Der Lebensdauerbeiwert a_{ISO} wird berechnet nach:

$$a_{ISO} = f \left[\frac{e_c \cdot C_u}{P}, \kappa \right]$$

a_{ISO} –
Lebensdauerbeiwert für die Betriebsbedingungen

e_c –
Lebensdauerbeiwert für die Verunreinigung

C_u N
Ermüdungsgrenzbelastung

κ –
Viskositätsverhältnis;
für $\kappa > 4$ ist mit $\kappa = 4$ zu rechnen

für $\kappa < 0,1$ ist dieses Rechenverfahren nicht anwendbar

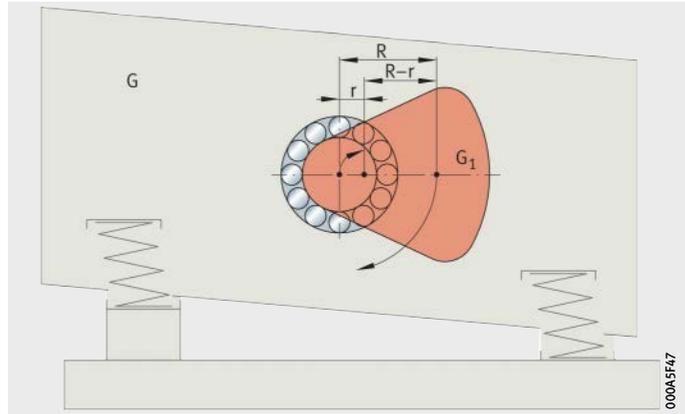
P N
Dynamische äquivalente Lagerbelastung.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Der Schwingradius r kann bei Freischwingern aus dem Verhältnis von Siebkastengewichtskraft und Erregergewichtskraft bestimmt werden. Da Freischwinger in der Regel weit überkritisch arbeiten und die statische Schwingamplitude annähernd erreicht wird, kann man annehmen, dass die gemeinsame Schwerachse der beiden Massen von Siebkasten und Erregerunwucht bei der Rotation erhalten bleibt, *Bild 5*.

- G = Siebkastengewichtskraft
- G_1 = Erregergewichtskraft
- R = Abstand des Erregerschwerpunkts von der Lagerachse
- r = Schwingradius des Siebkastens

Bild 5
Der Schwingradius ergibt sich aus dem Verhältnis von Siebkastengewichtskraft zu Erregergewichtskraft



Unter dieser Voraussetzung gilt:

$$G \cdot r = G_1 (R - r)$$

Damit ergibt sich der Schwingradius r zu:

$$r = \frac{G_1 \cdot R}{G + G_1}$$

- G kN
Siebkastengewichtskraft
- r m
Schwingradius des Siebkastens
- G_1 kN
Erregergewichtskraft
- R m
Abstand des Erregerschwerpunkts von der Lagerachse
- $G_1 \cdot R$ kN/m
Unwuchtmoment des Erregers
- $G + G_1$ kN
Von den Federn abgestützte Gesamtgewichtskraft.

Setzt man den Schwingradius r in die Gleichung zur Berechnung der radialen Lagerbelastung F_r ein, ergibt sich nach Umformung:

$$F_r = \frac{1}{z} \cdot \frac{G_1}{g} \cdot \frac{R}{1 + \frac{G_1}{G}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

Beispiel

Angaben zur Berechnung:

- Siebkastengewichtskraft $G = 35 \text{ kN}$
- Schwingradius $r = 0,003 \text{ m}$
- Drehzahl $n = 1200 \text{ min}^{-1}$
- Lageranzahl $z = 2.$

Aus den Angaben errechnet sich die radiale Lagerbelastung wie folgt:

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{35}{9,81} \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1200}{30} \right)^2 = 84,5 \text{ kN}$$

Die zur Ermittlung der erforderlichen dynamischen Tragzahl des Lagers maßgebende dynamische äquivalente Lagerbelastung ist dann:

$$P = 1,2 \cdot F_r = 1,2 \cdot 84,5 = 101 \text{ kN}$$

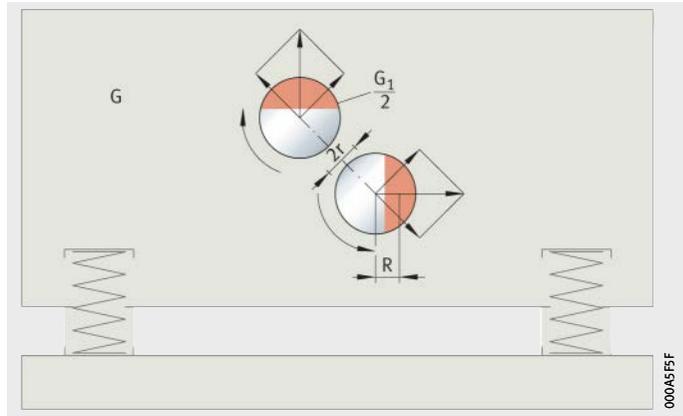
FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Freischwinger mit linearer Schwingbewegung

Im Prinzip besteht der Erreger eines Linearschwingers aus zwei gegenläufigen, synchron arbeitenden Kreisschwingsystemen, *Bild 6*.

- G = Siebkastengewichtskraft
- G_1 = Erregergewichtskraft
- R = Abstand des Erregerschwerpunkts von der Lagerachse
- r = Schwingradius des Siebkastens

Bild 6
Prinzip des Freischwingers mit linearer Schwingbewegung



Zur Bestimmung der Kräfte zerlegt man die umlaufenden Fliehkraftvektoren der Unwuchtwellen in Richtung der Verbindungslinie beider Wellen und in die dazu senkrechte Richtung. Dabei erkennt man, dass sich die in Richtung der Verbindungslinie liegenden Komponenten nach außen hin gegenseitig aufheben, während sich die dazu senkrecht stehenden Komponenten addieren und eine harmonisch pulsierende Massenkraft erzeugen, die den Siebkasten in lineare Schwingungen versetzt. Da sich wegen des überkritischen Betriebs in Schwingungsrichtung die sogenannte statische Amplitude einstellt und die gemeinsame Schwerachse des Siebkastens und der Erregerunwuchten bei der Schwingung unverändert bleibt, ergeben sich folgende Lagerbelastungen.

In Richtung der Schwingbewegung erhält man für die radiale Lagerbelastung:

$$F_{r \min} = \frac{1}{z} \cdot \frac{m}{10^3} \cdot r \cdot \omega^2 = \frac{1}{z} \cdot \frac{G}{g} \cdot r \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$
$$= \frac{1}{z} \cdot \frac{G_1}{g} \cdot (R - r) \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

Senkrecht zur Schwingbewegung ergibt sich eine etwas größere radiale Lagerbelastung:

$$F_{r \max} = \frac{1}{z} \cdot \frac{G_1}{g} \cdot R \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

Im Gegensatz zum Kreisschwinger, bei dem die Lagerbelastung immer gleich hoch ist, wechselt sie beim Linearschwinger während einer Umdrehung der Erregerwellen zweimal zwischen $F_{r \max}$ und $F_{r \min}$. Wenn man die Gleichung zur Berechnung der minimalen radialen Lagerbelastung $F_{r \min}$ mit der Gleichung zur Berechnung der radialen Lagerbelastung F_r vergleicht, ergibt sich, dass die minimale radiale Lagerbelastung eines Linearschwingers genauso groß ist wie die radiale Lagerbelastung eines vergleichbaren Kreisschwingers.

Für den Linearschwinger mit periodisch nach einer Sinusfunktion wechselnder Belastung kann man die radiale Lagerbelastung F_r nach folgender Formel ermitteln:

$$F_r = 0,68 \cdot F_{r \max} + 0,32 \cdot F_{r \min}$$

Während bei einem Kreisschwinger die Angabe der Siebkastengewichtskraft G , des Schwingradius r und der Drehzahl n zur Ermittlung der Lagerbelastung genügt, kann beim Linearschwinger mit diesen Angaben nur die minimale Lagerbelastung errechnet werden. Für eine genauere Rechnung muss zusätzlich noch entweder die Erregergewichtskraft G_1 oder der Abstand R der Erregerpunkte von ihren Lagerachsen bekannt sein.

Dann kann aus der folgenden Gleichung die noch fehlende Größe ermittelt werden:

$$G \cdot r = G_1 \cdot (R - r)$$

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Legende	$F_{r \min}, F_{r \max}, F_r$	kN
	radiale Lagerbelastung	
	m	kg
	Siebkastenmasse	
	r	m
	Schwingradius	
	ω	1/s
	Winkelgeschwindigkeit	
	G	kN
	Siebkastengewichtskraft	
	n	min ⁻¹
	Drehzahl	
	z	-
	Anzahl der Lager	
g	m/s ²	
Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)		
G_1	kN	
Erregergewichtskraft		
R	m	
Abstand der Erregerschwerpunkte von den zugehörigen Lagerachsen.		

Beispiel	Angaben zur Berechnung:	
	■ Siebkastengewichtskraft	$G = 33 \text{ kN}$
	■ Erregergewichtskraft	$G_1 = 7,5 \text{ kN}$
	■ Schwingradius	$r = 0,008 \text{ m}$
	■ Drehzahl	$n = 900 \text{ min}^{-1}$
■ Lageranzahl	$z = 4.$	

Aus den Angaben erhält man für den Abstand der Erregerschwerpunkte von den zugehörigen Lagerachsen:

$$R = \frac{r \cdot (G + G_1)}{G_1} = \frac{0,008 \cdot (33 + 7,5)}{7,5} = 0,0432 \text{ m}$$

Nach der Gleichung zur Berechnung der minimalen radialen Lagerbelastung $F_{r \min}$ und der Gleichung zur Berechnung der maximalen radialen Lagerbelastung $F_{r \max}$ ergibt sich:

$$F_{r \min} = \frac{1}{4} \cdot \frac{33}{9,81} \cdot 0,008 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 900}{30} \right)^2 = 59,8 \text{ kN}$$

$$F_{r \max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{7,5}{9,81} \cdot 0,0432 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 900}{30} \right)^2 = 73,3 \text{ kN}$$

Radiale Lagerbelastung:

$$F_r = 0,68 \cdot 73,3 + 0,32 \cdot 59,8 = 69 \text{ kN}$$

Die zur Ermittlung der erforderlichen dynamischen Tragzahl des Lagers maßgebende dynamische äquivalente Lagerbelastung ist dann:

$$P = 1,2 \cdot 69 = 83 \text{ kN}$$

Exzentrersieb

Im Gegensatz zum Freischwinger ist beim Starrschwinger der Schwingradius durch die Exzentrizität der Welle festgelegt, *Bild 7*.

G = Siebkastengewichtskraft
 G_2 = Gewichtskraft der Gegengewichte
 r = Exzenterradius der gekröpften Welle

- ① Pendelrollenlager Normalausführung
- ② FAG-Spezial-Pendelrollenlager (Ausführung T41A)

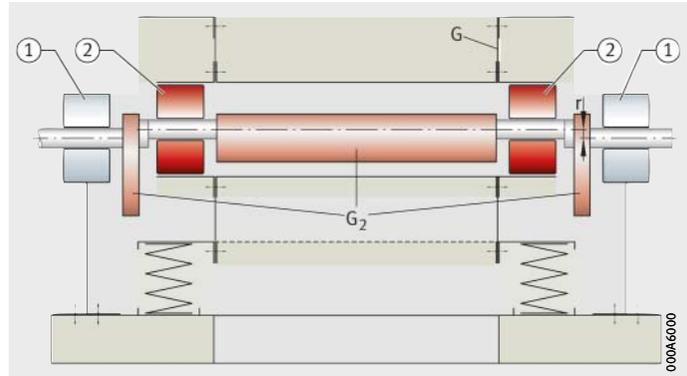


Bild 7

Prinzip des Exzentrersiebs

Die Lagerbelastung für die beiden Innenlager ergibt sich wie beim Kreisschwinger nach folgender Formel:

$$F_r = \frac{1}{z} \cdot \frac{G}{g} \cdot R \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

F_r kN
 Radiale Lagerbelastung
 G kN
 Siebkastengewichtskraft
 R m
 Abstand der Erregerschwerpunkte von den zugehörigen Lagerachsen
 n min^{-1}
 Drehzahl
 z -
 Anzahl der Lager
 g m/s^2
 Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Der Einfluss der Stützfedern auf die Belastung der Innenlager kann vernachlässigt werden. Die Außenlager der Exzentrersiebe sind nur gering belastet, da die Fliehkraft des Siebkastens im Leerlauf mit der Gewichtskraft der Gegengewichte G_2 ausgeglichen wird. Die Belastung dieser Lager ist nicht konstant; sie wird durch die Stützfedern des Siebkastens sinusförmig verändert. Im Betrieb wird der Massenausgleich der Maschine durch das Siebgut gestört. Dadurch werden die Außenlager zusätzlich belastet. Diese Zusatzlast ist jedoch ebenfalls sehr niedrig. Die Wahl der Lager richtet sich nach dem Wellendurchmesser. Damit kommt man zu Lagern, deren Tragfähigkeit so hoch ist, dass sich eine Berechnung der Ermüdungslebensdauer erübrigt. Da diese Lager nicht an der Schwingbewegung teilnehmen, genügt die Normalausführung der Pendelrollenlager.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Beispiel Angaben zur Berechnung:

- Siebkastengewichtskraft $G = 60 \text{ kN}$
- Exzenterradius $r = 0,005 \text{ m}$
- Drehzahl $n = 850 \text{ min}^{-1}$
- Lageranzahl $z = 2.$

Aus den Angaben errechnet sich die radiale Lagerbelastung der Innenlager wie folgt:

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{9,81} \cdot 0,005 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 850}{30} \right)^2 = 121 \text{ kN}$$

Die zur Ermittlung der erforderlichen dynamischen Tragzahl des Lagers maßgebende dynamische äquivalente Lagerbelastung ist dann:

$$P = 1,2 \cdot 121 = 145 \text{ kN}$$

Fliehkraftnomogramm

Die Berechnung der Fliehkraft der Unwuchtmassen beziehungsweise der Fliehkraft der Siebkastenmasse kann grafisch mit Hilfe eines Diagramms, dem sogenannten Fliehkraftnomogramm, erfolgen, *Bild 8*, Seite 24.

Die Ermittlung der Fliehkräfte ergibt sich nach folgender Formel:

$$F_{\max} = \frac{G_1}{g} \cdot R \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

$$F_{\min} = \frac{G_1}{g} \cdot (R - r) \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

$$F = \frac{G}{g} \cdot r \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

F_{\max} , F_{\min} , F kN

Fliehkräfte

G_1 kN

Unwuchtgewichtskraft

R m

Abstand des Erregerschwerpunktes von der Lagerachse

n min^{-1}

Drehzahl

g m/s^2

Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

r m

Schwingradius

b m/s^2

Beschleunigung, *Bild 8*, Seite 24.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

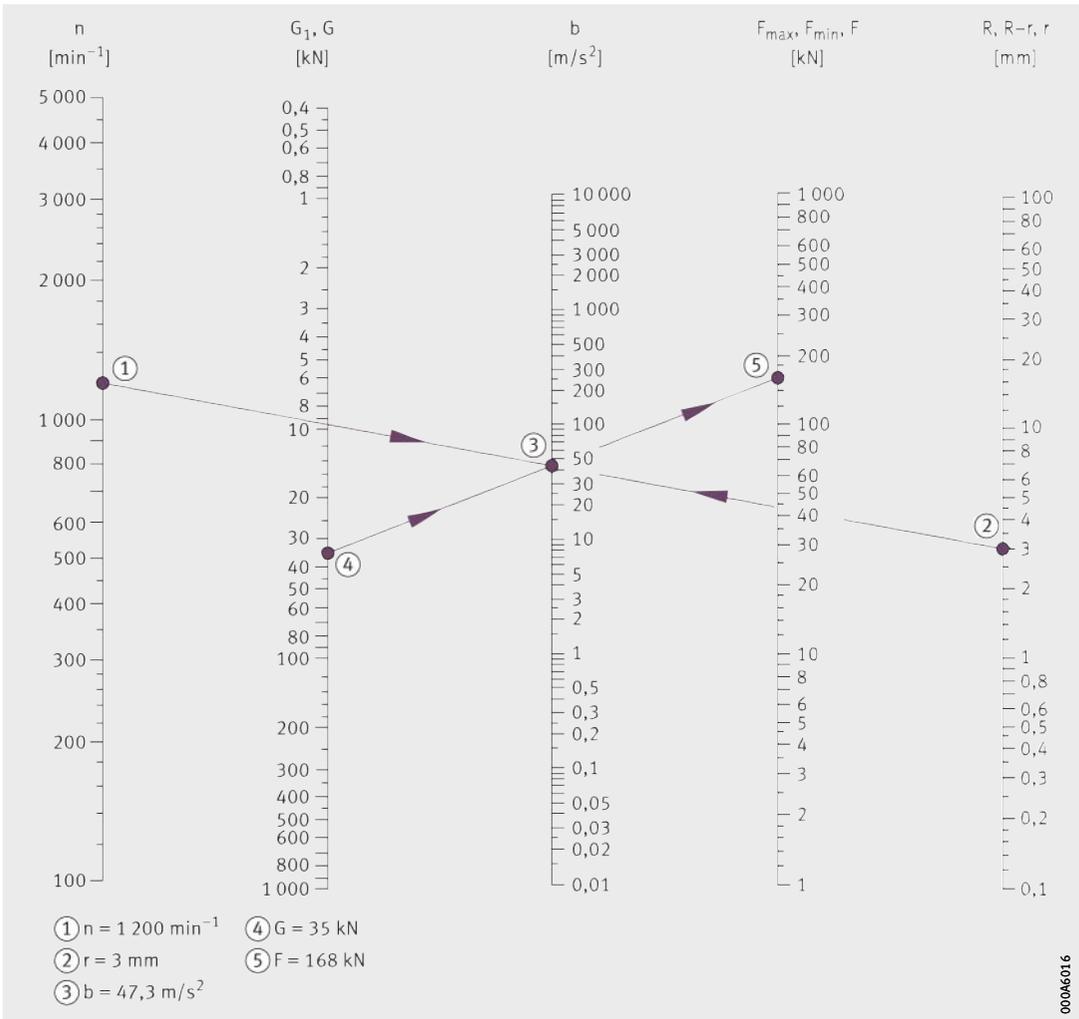


Bild 8
Fliehkraftnomogramm

Tragzahlnomogramm

Die Ermittlung der dynamischen Tragzahl C kann auch grafisch mit Hilfe eines Diagramms, dem sogenannten Tragzahlnomogramm, erfolgen, *Bild 9*, Seite 26.

Zur Ermittlung der dynamischen Tragzahl C werden benötigt:

- Drehzahl n in min^{-1}
- Nominelle Lebensdauer L_h in h
- Dynamische äquivalente Belastung P in kN.

Bei Freischwingern mit kreisförmiger Schwingbewegung und Exzentriseiben mit Innenlagern gilt:

$$P = 1,2 \cdot \frac{F}{z}$$

Bei Freischwingern mit linearer Schwingbewegung gilt:

$$P = 1,2 \cdot \left(\frac{0,68 \cdot F_{\max} + 0,32 \cdot F_{\min}}{z} \right)$$

Mit:

- 1,2 = Zuschlagfaktor
- z = Anzahl der Lager
- F = Fliehkraft.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

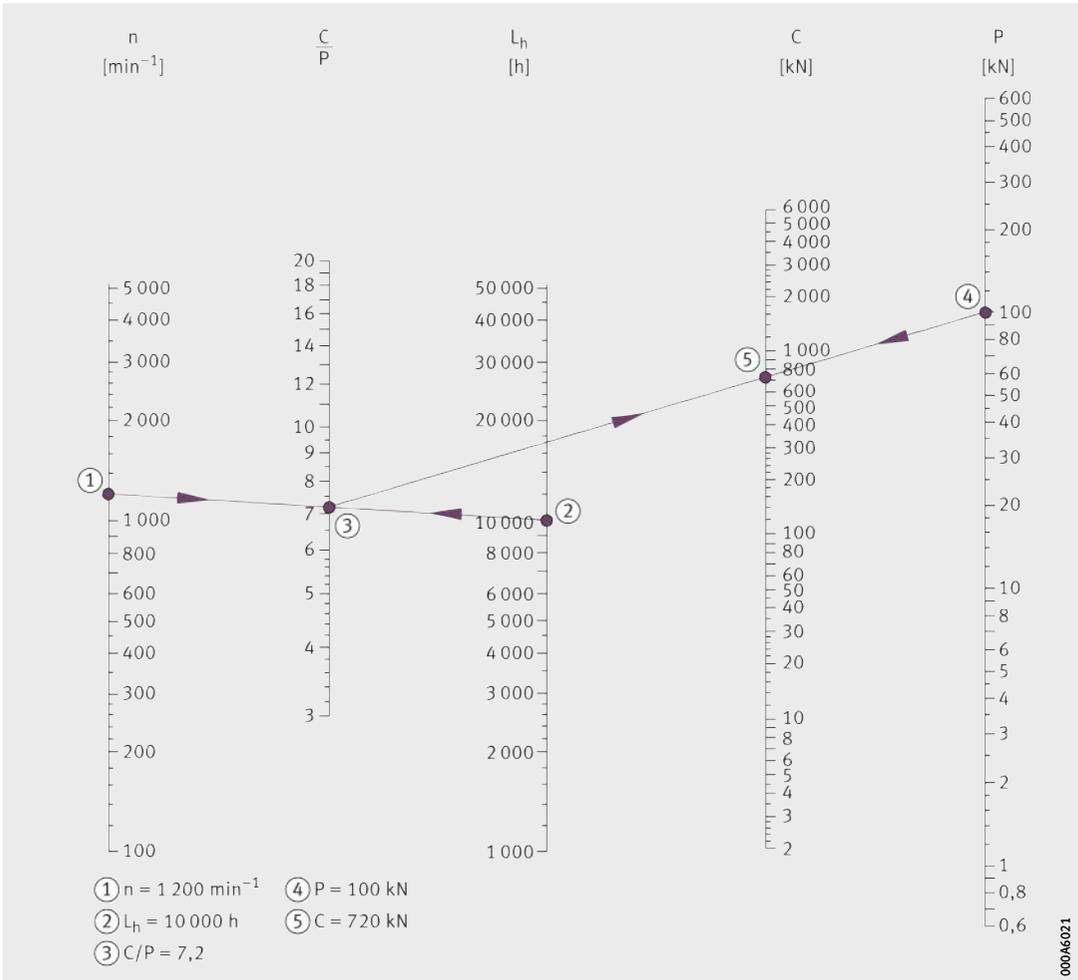


Bild 9
Tragzahlnomogramm

Konstruktive Gestaltung der Lagerstellen

Freischwinger mit kreisförmiger Schwingbewegung

Fettschmierung

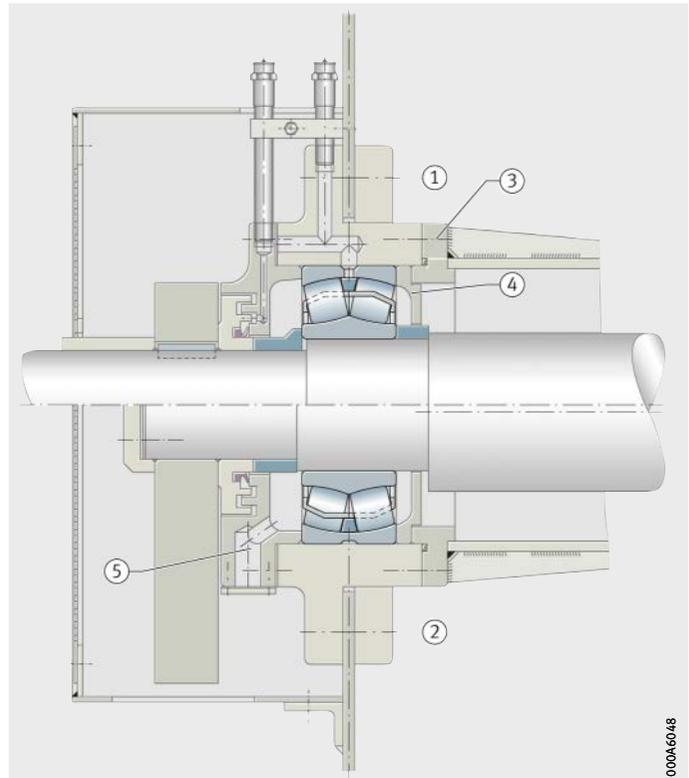
Anhand von mehreren Beispielen wird die konstruktive Gestaltung der Lagerstellen nachfolgend dargestellt.

In diesem Abschnitt werden die Lagerungen von Freischwingern mit Fettschmierung, Ölstandschiemierung und Ölumlaufschmierung beschrieben.

Die prinzipielle Ausführung der Lagerung eines Freischwingers mit kreisförmiger Schwingbewegung und Fettschmierung zeigt *Bild 10*. Die Unwuchtwelle ist in zwei FAG-Spezial-Pendelrollenlagern 223..-E1-XL-T41A abgestützt. Das antriebsseitige Lager ist als Festlager, das gegenüberliegende Lager als Loslager ausgebildet.

- ① Festlager
- ② Loslager
- ③ Flansch des Schutzrohres
- ④ Fetthaltescheibe
- ⑤ Fettsammel tasche

Bild 10
Freischwinger mit kreisförmiger Schwingbewegung (Fettschmierung)



FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Nach der Kontrolle der Anschlussteile wird das Lager zunächst in die Gehäusebohrung eingesetzt. Kleinere Lager kann man kalt einpressen. Bei größeren Lagern wird der Gehäusekörper so weit gleichmäßig erwärmt, dass das Passungsübermaß zwischen Lageraußenring und Gehäusebohrung aufgehoben ist. Beim Erkalten des Gehäuses stellt sich der Festsitz ein. Anschließend schiebt man Lager und Gehäuse auf die Welle. Bei der Demontage wird das Auspressen des Lagers aus dem Gehäuse erleichtert, wenn man anstelle des Schutzrohrflansches einen Ring anschraubt, *Bild 10*, ①, Seite 27, der auf seinem Umfang mit mehreren Abdruckschrauben versehen ist.

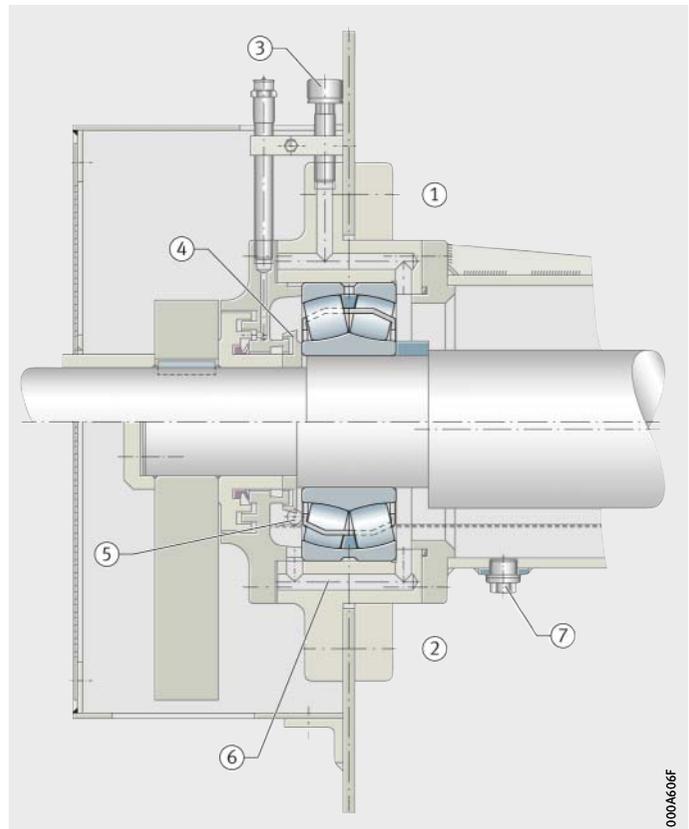
Günstig ist die hier gezeigte Fettzufuhr durch die umlaufende Nut und die Schmierbohrungen im Lageraußenring. So gelangt das frische Fett direkt an die Roll- und Gleitflächen des Wälzlagers und eine gleichmäßige Schmierung beider Rollenreihen ist sichergestellt. Das frische Fett verdrängt den verbrauchten, eventuell verunreinigten Schmierstoff aus dem Lagerinneren. Auf der Innenseite der Lagerung entweicht das Altfett durch den Spalt der Fetthaltescheibe und setzt sich im Schutzrohr ab. Auf der Außenseite setzt es sich an der Fettsammel tasche ab, aus der es von Zeit zu Zeit entfernt wird. Nach außen ist die Lagerung durch ein nachschmierbares Labyrinth abgedichtet, dessen Dichtwirkung durch einen V-Ring im innersten Labyrinthgang noch erhöht werden kann.

Ölstandschmierung

Die prinzipielle Ausführung der Lagerung eines Freischwingers mit kreisförmiger Schwingbewegung und Ölstandschmierung ist in *Bild 11* dargestellt. Als Abdichtung nach außen gegen Schmutzeintritt dient ein mit Fett gefülltes nachschmierbares Labyrinth. Gegen Ölaustritt wird ein Spritzring mit Ölfangnut verwendet. Auf der Lagerseite ist die Dichtungspartie durch eine Kragenbüchse abgeschirmt. Damit das im Labyrinth befindliche Fett nicht in die Ölräume gelangt, ist zwischen Labyrinth und Spritzring ein V-Ring angeordnet. Durch die unten im Gehäuse angebrachte Verbindungsbohrung wird die Ölstandshöhe zu beiden Seiten des Lagers ausgeglichen. Der Ölspiegel soll so hoch liegen, dass die unterste Rolle des Lagers im Stillstand etwa zur Hälfte ins Öl eintaucht. Dazu ist in dieser Höhe eine Überlaufbohrung angebracht, die nach der Füllung des Gehäuses verschlossen wird. Die Ölablassschraube enthält einen kleinen Dauermagneten, der Verschleißpartikel aus dem Öl abscheidet. Im Allgemeinen wird das Wellenschutzrohr als zusätzlicher Ölbehälter genutzt.

- ① Festlager
- ② Loslager
- ③ Entlüftungsschraube
- ④ Kragenbüchse
- ⑤ Ölüberlaufbohrung
- ⑥ Verbindungsbohrung
- ⑦ Ölablassschraube

Bild 11
Freischwinger mit
kreisförmiger Schwingbewegung
(Ölstandschmierung)



0004606F

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

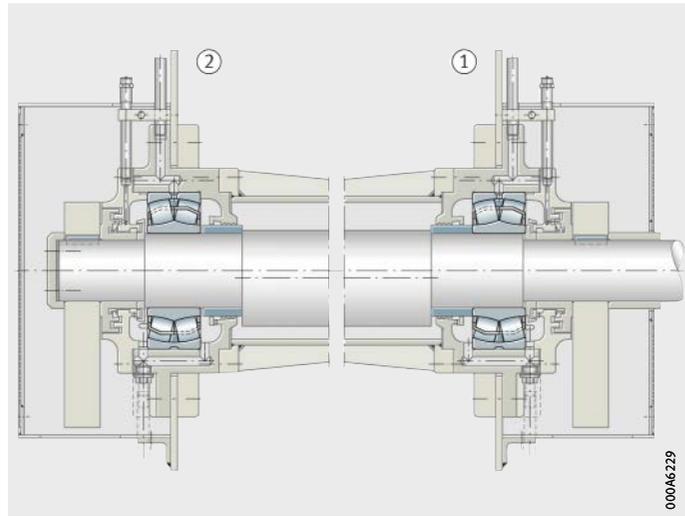
Ölumlaufschmierung

Der konstruktive Aufbau der in *Bild 12* gezeigten Lagerung mit Ölumlaufschmierung ist ähnlich dem der Lagerung mit Ölstandschmierung, siehe Seite 29. Durch die Verbindungsbohrung im Gehäuseunterteil wird die Ölstandshöhe zu beiden Seiten der Lager ausgeglichen.

Die Abdichtungen sind von der Ölstandschmierung übernommen. Die Öl Ablaufbohrung ist so hoch gelegt, dass auch bei Unterbrechung der Ölzufuhr noch ein geringer Ölstand als Notreserve erhalten bleibt. Zugeführt wird das Öl über die Schmiernut und Schmierbohrungen im Lageraußenring. Ölfilterung ist unbedingt erforderlich, siehe Seite 41.

- ① Festlager
- ② Loslager

Bild 12
Freischwinger mit
kreisförmiger Schwingbewegung
(Ölumlaufschmierung)



Freischwinger mit linearer Schwingbewegung

Ölspritzschmierung

In diesem Abschnitt wird die Lagerung eines Freischwingers mit einer Ölspritzschmierung beschrieben.

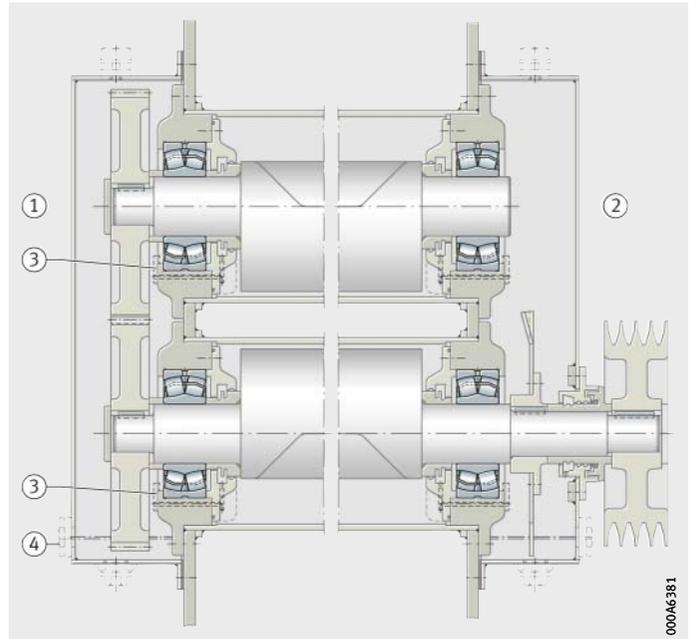
Die Lagerung eines Erregers für einen Freischwinger mit linearer Schwingbewegung zeigt *Bild 13*. Die beiden gegenläufigen, mit Zahnradern synchronisierten Unwuchtwellen sind mit FAG-Spezial-Pendelrollenlagern 223...-E1-XL-T41A ausgerüstet. Die Lager auf der Synchronisationsseite sind als Festlager eingebaut, um die Abrollverhältnisse der Zahnräder bei auftretenden Längenänderungen (Temperaturdifferenz) nicht zu stören.

Das Öl, das von den Zahnradern und einer Schleuderscheibe abgeschleudert wird, schmiert die Lager. Die Staubleche an den unteren Hälften der Gehäusestirnseiten sichern einen etwa bis zur Mitte der untersten Rolle reichenden Ölstand in den Lagern.

Die Antriebswellendurchführung ist mit einer Spritzringrichtung und zum Schutz gegen Schmutzeintritt mit einem Labyrinth ausgerüstet. Zwischen Labyrinth und Spritzring kann zusätzlich ein V-Ring angeordnet werden. Der Ölstand ist nur so hoch, dass das untere Zahnrad beziehungsweise die Schleuderscheibe gerade in den Ölsumpf eintaucht. Die Ölüberwachung erfolgt durch seitliche Ölstandsaugen.

- ① Festlager
- ② Loslager
- ③ Staubleche
- ④ Ölstandsauge

Bild 13
Freischwinger mit linearer Schwingbewegung (Ölspritzschmierung)



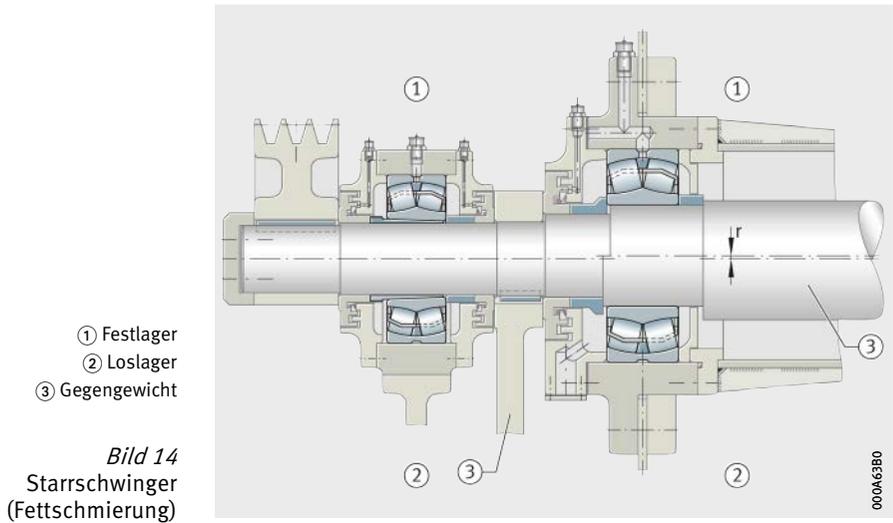
FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

- Starrschwinger** In diesem Abschnitt wird die Lagerung eines Starrschwingers mit Fettschmierung beschrieben.
- Fettschmierung** Die Exzenterwelle eines Starrschwingers zeigt *Bild 14*, Seite 33. Da die Innenlager etwa den gleichen Beanspruchungen unterliegen wie die Lager eines Freischwingers, sind an diesen Lagerstellen FAG-Spezial-Pendelrollenlager der Reihe 223...E1-XL-T41A eingebaut.
- Obwohl sich durch das Zusammenwirken der umlaufenden Siebkastenfliehkraft und der in ihrer Richtung gleichbleibenden Federkräfte nicht eindeutig Punktlast für den Innenring ergibt, werden die Passungen meist wie beim Freischwinger gewählt.
- Die Außenringe werden mit P6 im Gehäuse und die Innenringe mit f6 oder g6 auf der Welle gepasst. Eines der beiden Innenlager wird als Festlager, das andere als Loslager mit einem auf der Welle verschiebbaren Innenring eingebaut. Im Übrigen entspricht der Aufbau der gezeigten Innenlagerung völlig dem der Lagerung eines fettgeschmierten Freischwingers.
- Bei den Außenlagern ergeben sich andere Verhältnisse. Damit nach Möglichkeit keine Unwuchtkräfte auf das Fundament übertragen werden und die radiale Lagerbelastung klein bleibt, wird das Unwuchtmoment des Siebkastens beim Exzentertrieb durch Unwuchtgewichte ausgeglichen. Die Außenlager werden beim Leerlauf nur durch die Kräfte der Stützfedern beansprucht. Die Stützfedern werden so stark vorgespannt, dass die Außenlager einer sinusförmig an- und abschwellenden, aber in ihrer Richtung unveränderlichen Radiallast unterliegen. Obwohl der genaue Massenausgleich im Betrieb durch das Siebgut gestört wird – den Federkräften überlagert sich dann eine unausgeglichene umlaufende Fliehkraft – und die Lastrichtung daher um einen gewissen Winkel hin- und herpendeln kann, werden die Lager zweckmäßigerweise so gepasst, als ob Punktlast für den Außenring vorläge.
- Für die Außenringe darf deshalb nur ein loser Sitz in der Gehäusebohrung gewählt werden. Die Innenringe werden meist – wie dargestellt – mit Abziehhülsen auf der Welle befestigt. Das Lager auf der Antriebsseite wird als Festlager, das gegenüberliegende Lager als Loslager mit axial verschiebbarem Außenring ausgebildet.

Übliche und bewährte Bearbeitungstoleranzen für die Sitze der Außenlager sind:

- Welle: H8/h9
(Wellentoleranz für Abziehhülsenbefestigung)
- Gehäuse: H7.

Als ortsfeste, gering belastete Außenlager wählt man normale Pendelrollenlager mit konischer Bohrung und normaler Lagerluft.



FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Schmierung der Lager

Pendelrollenlager in Schwingmaschinen werden durch die Betriebsbelastungen und die Umgebungsbedingungen sehr hoch beansprucht. Schmierstoffsorte, Schmierverfahren und Schmierstoffversorgung sind sorgfältig auszuwählen und abzustimmen, damit die Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit und die Lebensdauer der Schwingmaschinenlager erfüllt werden. Je nach Betriebsbedingungen, Lagergröße und besonderen Anforderungen der Anlagenbetreiber kann zwischen einer Schmierung mit Fett oder mit Öl gewählt werden.

Fettschmierung

In den meisten Schwingmaschinen werden die FAG-Spezial-Pendelrollenlager mit Fett geschmiert. Fettschmierung ist üblich bis zu einem Drehzahlkennwert $n \cdot d_M = 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ ($n =$ Betriebsdrehzahl, $d_M =$ mittlerer Lagerdurchmesser). Dabei sollten nur bewährte und geprüfte Fette verwendet werden, siehe Seite 42. Ein Wechsel der Fettsorte ist zu vermeiden.

Für übliche Betriebsbedingungen in Schwingmaschinen empfehlen wir lithiumverseifte Fette mit Hochdruck- und Korrosionsschutzzusätzen der Penetrationsklasse 2. Die in DIN 51825 beschriebenen Mindestanforderungen reichen bei dieser Anwendung nicht aus. Für die Schmierfette muss vielmehr die Eignung im Wälzlager nachgewiesen sein, wie dies zum Beispiel für die FAG-Wälzlagerfette Arcanol MULTITOP und LOAD400 der Fall ist.

Treten höhere Betriebstemperaturen auf, zum Beispiel in Heißgut-sieben, oder werden die Lager in Sonderfällen durch das Siebgut sehr stark erwärmt, sind temperaturstabile Spezialfette sinnvoll.

Die erforderliche Grundölviskosität richtet sich nach den Betriebsbedingungen. Anzustreben ist ein Viskositätsverhältnis $\kappa = \nu/\nu_1 \geq 2$. Dabei ist ν die Betriebsviskosität, ν_1 die Bezugsviskosität, siehe auch Katalog HR 1, Wälzlager. Bei der Montage der Wälzlager die Hohlräume der Lager mit Fett befüllen, siehe Tabelle, Seite 36. Während der Anlaufphase wird sich das Fett im Lager verteilen und teilweise (circa 30% der Fettmenge/Lager) auch die Gehäusefreiräume V_G neben dem Lager füllen. Diese Freiräume dürfen nach abgeschlossener Fettverteilung im Lager zu maximal 50% mit Fett gefüllt sein.

Für die Fettfüllmenge Gehäuseräume H_G mit einer (für die meisten Fette üblichen) Fettdichte $\rho = 0,9 \text{ g/cm}^3$ gilt:

$$H_G = (0,5 \cdot V_G) \cdot \rho - 0,3 \frac{\text{Fettmenge}}{\text{Lager}}$$

H_G –
Fettfüllmenge Gehäuseraum
 V_G –
Volumen Gehäuse.

So wird übermäßige Walkarbeit und damit verbundene Temperaturentwicklung vermieden. Das Fett in den Gehäusefreiräumen wirkt als Depot und trägt, je nach Betriebsbedingungen und Einbauverhältnissen, zur Gebrauchsdauerverlängerung bei. Zu empfehlen ist grundsätzlich eine Nachschmierung durch die Schmiernut und die drei Schmierbohrungen, die bei allen FAG-Spezial-Pendelrollenlagern standardmäßig im Außenring vorhanden sind.

Dadurch ist eine gleichmäßige Versorgung beider Rollenreihen sichergestellt. Bei einer seitlichen Nachschmierung der Wälzlager sollte der Abstand zwischen Gehäusewand und Lagerstirnseite an der Zuführungsseite möglichst klein gehalten werden, damit das Fett schnell und vollständig in das Lagerinnere gelangen kann. Die Fettautrittsbohrung ist auf der gegenüberliegenden Lagerseite anzuordnen.

Bei Schwingmaschinenlagerungen ist es sinnvoll, relativ kleine Fettmengen in kurzen Intervallen nachzuschmieren. Die Nachschmiermengen sind in Abhängigkeit von der Lagergröße und der Drehzahl angegeben, siehe Tabelle, Seite 36. Diese Nachschmiermengen beziehen sich auf ein Nachschmierintervall von 50 Betriebsstunden und normale Betriebstemperaturen.

Bei einer kontinuierlichen Nachschmierung über eine zentrale Schmierstoffversorgungsanlage kann die erforderliche Fettmenge m_1 je Stunde und Lager mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$m_1 = 0,00004 \cdot D \cdot B$$

m_1	g/h
Erforderliche Fettmenge	
D	mm
Außendurchmesser des Lagers	
B	mm
Breite des Lagers.	

Die Labyrinthabdichtungen sind wöchentlich, bei ungünstigen Betriebsbedingungen (hoher Staubanfall, Feuchtigkeit, hohe Betriebstemperatur) häufiger nachzuschmieren. Dazu sollte man das gleiche Fett wie für die Wälzlager verwenden.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Erstbefehtungs- und
Nachschmiermengen in g
für Pendelrollenlager 223
in Schwingmaschinen

Bohrungs- kennzahl	Erstbefehtungs- menge	Nachschmiermenge bei Drehzahl min^{-1}				
		500	600	700	800	900
08	16	5	5	5	5	5
09	22	5	5	5	5	5
10	27	5	5	5	5	5
11	43	5	5	5	5	5
12	50	5	5	5	5	5
13	56	5	5	5	5	5
14	76	5	5	5	5	5
15	91	5	5	5	5	5
16	100	5	5	5	10	10
17	130	5	5	10	10	10
18	145	10	10	10	10	10
19	180	10	10	10	10	10
20	185	10	10	10	10	15
22	270	10	10	15	15	20
24	330	15	15	20	25	30
26	420	15	20	20	25	35
28	525	20	25	30	35	45
30	630	25	30	40	50	65
32	725	25	35	45	60	80
34	870	30	40	55	80	110
36	1 000	35	50	65	90	120
38	1 200	45	65	90	130	–
40	1 400	50	70	100	150	–
44	1 700	70	105	160	–	–

1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600	2 800	3 000	3 200
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10
5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	15
5	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	-
5	5	10	10	10	10	15	15	20	-	-	-
5	10	10	10	15	15	20	25	-	-	-	-
5	10	10	10	15	20	25	-	-	-	-	-
10	10	10	15	20	25	-	-	-	-	-	-
10	10	15	20	25	35	-	-	-	-	-	-
10	15	20	25	30	40	-	-	-	-	-	-
15	15	25	35	45	-	-	-	-	-	-	-
15	20	30	40	-	-	-	-	-	-	-	-
20	30	50	70	-	-	-	-	-	-	-	-
35	55	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Ölschmierung Liegen die Drehzahlen über dem für Fettschmierung üblichen Bereich, das heißt Drehzahlkennwert $n \cdot d_M > 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, muss eine Ölschmierung vorgesehen werden. Auch bei Fremderwärmung oder aus Wartungsgründen kann Ölschmierung erforderlich sein. Für die Lagerschmierung empfehlen wir Mineralöle oder synthetische Öle mit Hochdruck- und Korrosionsschutzzusätzen, siehe Seite 42. Auch gute Mehrbereichsöle können verwendet werden. Für das Viskositätsverhältnis $\kappa = \nu/\nu_1 \geq 2$.

Ölstandschmierung (Tauchschmierung) Die Ölstandschmierung wird normalerweise bis zu einem Drehzahlkennwert $n \cdot d_M = 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ angewandt, bei häufigem Ölwechsel auch bis $n \cdot d_M = 500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. Bei diesem Schmierverfahren wird der Schmierstoff durch vorhandene Zahnräder, durch die Unwuchtmasse oder durch die Wälzkörper selbst an die Wälzkontaktstellen gefördert. Dazu muss der Ölstand in der Anlage oder im Lagergehäuse so hoch sein, dass die Zahnräder oder Unwuchtmassen im Betrieb in das Öl eintauchen und es verwirbeln können. Bei Stillstand muss die unterste Rolle bis zur Hälfte in das Öl eintauchen, *Bild 15* und Tabelle, Seite 39.

- ① Normaler Ölstand
- ② Niedrigster Ölstand

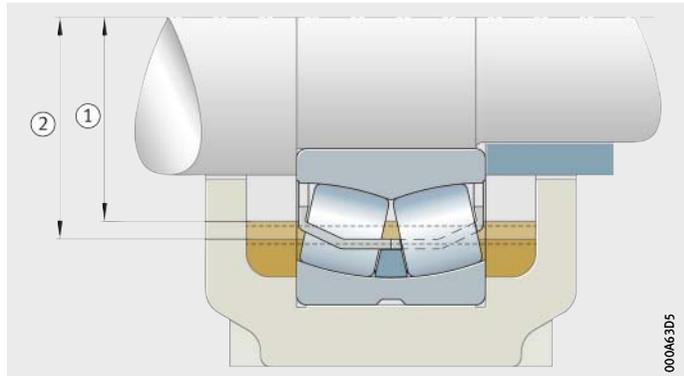


Bild 15
Bestimmung des Ölstands
im Stillstand

Ölstand im Stillstand

Bohrungskennzahl	Lagerreihe 223	
	Ölstand	
	normal mm	niedrig mm
08	31	34
09	35	38
10	39	42
11	42	46
12	46	50
13	50	54
14	54	59
15	58	62
16	62	67
17	66	71
18	69	74
19	72	78
20	78	84
22	86	94
24	93	101
26	100	109
28	107	117
30	115	125
32	122	133
34	129	140
36	137	149
38	144	156
40	152	165
44	168	182
48	182	195
52	196	211
56	212	228

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

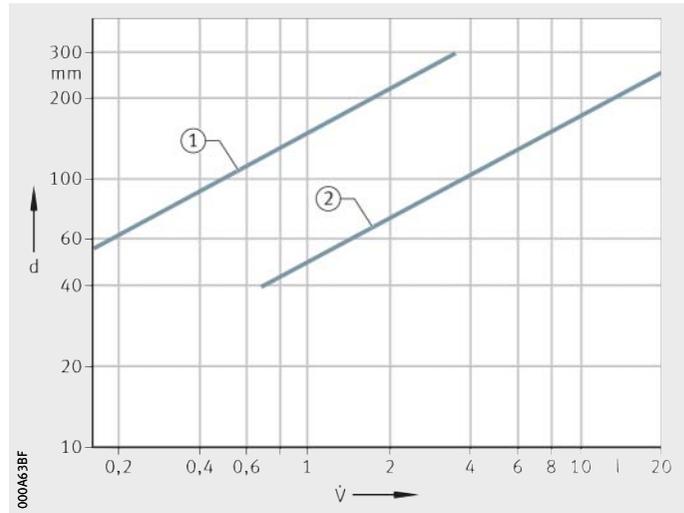
Eine genügend große Ölmenge verlängert die Ölwechselfrist. Reichen die Räume in den Gehäusen nicht aus, wird das Wellenschutzrohr zwischen den Lagern zur Aufnahme des Ölvorrats mitverwendet oder ein zusätzlicher Ölbehälter vorgesehen. Die Ölwechselfrist hängt von der Verschmutzung und vom Alterungs-zustand des Öles ab.

Richtwerte für die Ölmenge und Ölwechselfristen in Abhängigkeit von der Lagerbohrung enthält *Bild 16*.

Wir empfehlen eine regelmäßige Öluntersuchung, um anhand deren Ergebnisse die Ölwechselfristen genauer festlegen zu können.

- d = Lagerbohrung
V = Ölmenge
- ① Ölwechselfrist
2 Monate bis 3 Monate
 - ② Ölwechselfrist
10 Monate bis 12 Monate

Bild 16
Ölmenge und Ölwechselfrist
in Abhängigkeit
von der Lagerbohrung



Weitere Informationen

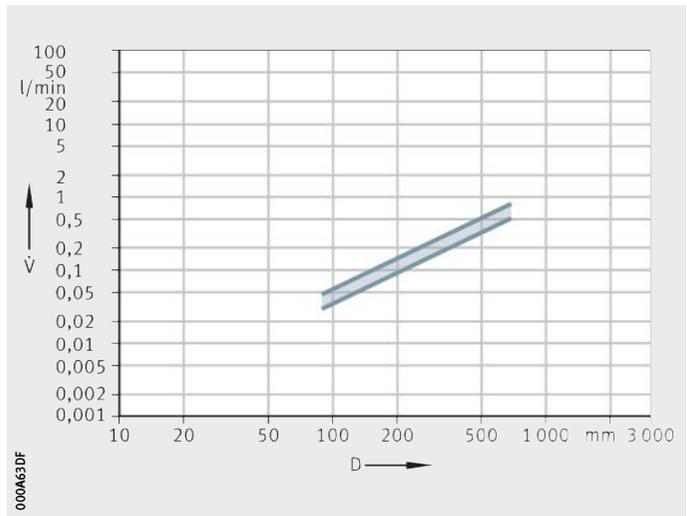
■ TPI 176, Schmierung von Wälzlagern.

Ölumlaufschmierung

Liegt der Drehzahlkennwert höher als der für Tauchschmierung angegebene zulässige Wert oder gelten besondere Bedingungen (erhöhte Wärmeabfuhr erforderlich, nicht ausreichende Ölräume), muss eine Ölumlaufschmierung vorgesehen werden. Das Öl sollte durch die Schmiernut und die Schmierbohrungen im Außenring zugeführt werden. Richtwerte für die üblichen Öldurchflussmengen können *Bild 17* entnommen werden. Um Ölstaub im Schmiersystem zu verhindern, müssen die Querschnitte der drucklosen Rückführkanäle den Zuführquerschnitten angepasst werden (4- bis 5-mal so groß). Unbedingt erforderlich ist bei der Ölumlaufschmierung ein Filter zum Aussondern von Verschleißteilchen und Verunreinigungen, um eine Beeinträchtigung der Lagergebrauchsdauer zu vermeiden. Durch die Auswertung regelmäßiger Öluntersuchungen kann man die Ölwechselfristen den jeweiligen Betriebsverhältnissen genauer anpassen.

\dot{V} = Öldurchflussmenge
D = Lageraußendurchmesser

Bild 17
Mindest-Öldurchflussmenge
bei Pendelrollenlagern
der Reihe 223
in Schwingmaschinen



FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

Empfohlene Schmierstoffe	In diesem Abschnitt werden Schmierfette und Öle für Schwing-sieblagerungen beschrieben.
Fette für Schwingsieblagerungen	<p>Die FAG-Wälzlagerfette Arcanol werden bei jeder Lieferung einer umfangreichen Qualitätsprüfung unterzogen. Die Qualität jeder Charge ist eindeutig belegbar und nachvollziehbar.</p> <p>Fette für Normaltemperaturen:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Arcanol MULTITOP■ Arcanol LOAD400■ Arcanol LOAD220■ Arcanol VIB3. <p>Fett für hohe Temperaturen:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Arcanol TEMP120. <p>Für Fette, die nicht unsere Eingangskontrolle durchlaufen, können wir keine Aussagen über Chargenschwankungen, Formulierungsänderungen oder Produktionseinflüsse machen.</p>
Öle für Schwingsieblagerungen	Bei Ölen für diesen Anwendungsfall muss nachgewiesen sein, dass die Additivierung im Wälzlager wirksam ist. Grundsätzlich können Mineralöle und Syntheseöle mit Ausnahme von Silikonölen eingesetzt werden. Öle mit Viskositätsindex-Verbesserern sind nicht sinnvoll.

Überwachung von Schwingsieben

Die Schwingungsdiagnose ist ein zuverlässiges Verfahren, um beginnende Maschinenschäden frühzeitig zu erkennen. Schaeffler bietet hierzu Überwachungssysteme, die auch unter sehr rauen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden können.

Überwachungssysteme für Schwingsiebe erkennen Maschinenschäden in einem sehr frühen Stadium. Durch die rechtzeitige Alarmierung helfen sie, ungeplante Stillstände zu vermeiden. Messdaten können jederzeit vor Ort oder aus der Ferne abgerufen und vom Betreiber selbst oder vom Schaeffler Remote Service Center ausgewertet werden, *Bild 18* und *Bild 19*, Seite 44.

Durch eine Überwachung der Schwingsiebe können zum Beispiel folgende Anlagenzustände erkannt werden:

- Lagerschäden
- Lose Teile
- Gebrochene Federn
- Überlasten
- Aufsetzen.

Darüber hinaus beinhaltet die Angebotspalette von Schaeffler im Bereich Instandhaltung und Qualitätssicherung weitere Produkte und Dienstleistungen: angefangen bei der Montage über die Anlagenüberwachung bis zur Einführung und Umsetzung vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen.

Ein breites Programm an Montage- und Ausrichtwerkzeugen, Messinstrumenten und Schmiermitteln sowie Schulungen erleichtert Instandhaltungsarbeiten und hilft, Arbeitsabläufe effizienter zu gestalten. Dank langjähriger Erfahrung und qualifizierter Fachleute ist Schaeffler der kompetente Partner für kundenorientierte Lösungen rund um den Lebenszyklus von Wälzlagern.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen



Bild 18
Schwingsieb



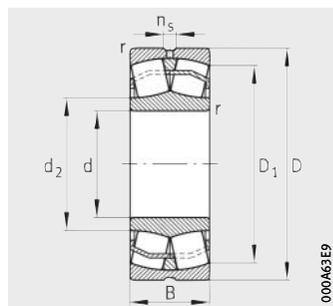
Bild 19
Schaeffler Remote Service Center

Weitere Informationen

- www.schaeffler.de/services
- Oder schreiben Sie eine E-Mail an industrial-services@schaeffler.com.

FAG-Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen

mit zylindrischer Bohrung
Reihe 223...-E1-XL-T41A(D)
Reihe 223...-BE-XL-JPA-T41A



Abmessung

000A63E9

X-life

Maßtabelle · Abmessungen in mm

Kurzzeichen	Masse m ≈ kg	Abmessungen						
		d	D	B	r	ns	D ₁	d ₂
22308-E1-XL-T41A	1,05	40	90	33	1,5	6,5	76	52,4
22309-E1-XL-T41A	1,39	45	100	36	1,5	6,5	84,7	58,9
22310-E1-XL-T41A	1,9	50	110	40	2	6,5	92,6	63
22311-E1-XL-T41A	2,27	55	120	43	2	6,5	101,4	68,9
22312-E1-XL-T41A	2,97	60	130	46	2,1	6,5	110,1	74,8
22313-E1-XL-T41A	3,57	65	140	48	2,1	9,5	119,3	83,2
22314-E1-XL-T41A	4,21	70	150	51	2,1	9,5	128	86,7
22315-E1-XL-T41A	5,38	75	160	55	2,1	9,5	136,3	92,4
22316-E1-XL-T41A	6,27	80	170	58	2,1	9,5	145,1	98,3
22317-E1-XL-T41D	7,06	85	180	60	3	9,5	154,2	104,4
22318-E1-XL-T41D	8,69	90	190	64	3	12,2	162,5	110,2
22319-E1-XL-T41D	9,69	95	200	67	3	12,2	171,2	116
22320-E1-XL-T41D	13,1	100	215	73	3	12,2	184,7	130,2
22322-E1-XL-T41D	17,7	110	240	80	3	15	204,9	143,1
22324-E1-XL-T41D	22,3	120	260	86	3	15	222,4	150,8
22326-E1-XL-T41D	28	130	280	93	4	17,7	239,5	162,2
22328-E1-XL-T41D	34,6	140	300	102	4	17,7	255,7	173,5
22330-E1-XL-T41D	42,2	150	320	108	4	17,7	273,2	185,3
22332-BE-XL-JPA-T41A	48,4	160	340	114	4	17,7	286,7	201,2
22334-BE-XL-JPA-T41A	58,2	170	360	120	4	17,7	303,9	213,1
22336-BE-XL-JPA-T41A	68,1	180	380	126	4	23,5	320,8	224,9
22338-BE-XL-JPA-T41A	78,9	190	400	132	5	23,5	338,1	236,8
22340-BE-XL-JPA-T41A	89,4	200	420	138	5	23,5	355,1	248,8
22344-BE-XL-JPA-T41A	117	220	460	145	5	23,5	391,1	273,4

Tragzahlen		Ermüdungs- grenzbelastung C_{ur} kN	Grenzdrehzahl n_G min^{-1}	Bezugsdrehzahl n_B min^{-1}
dyn. C_r kN	stat. C_{0r} kN			
156	149	13,1	7 600	5 500
187	183	16	6 800	5 000
229	223	20,1	6 300	4 800
265	260	23,9	5 800	4 500
310	310	28	5 400	4 200
350	365	32,5	5 000	3 800
390	390	36,5	4 800	3 700
445	450	40,5	4 500	3 550
495	510	45	4 250	3 400
540	560	49,5	4 100	3 200
610	630	55	3 850	3 000
670	700	59	3 700	2 800
810	920	75	3 300	2 380
950	1 070	90	3 000	2 130
1 080	1 170	102	2 850	2 000
1 250	1 370	116	2 650	1 820
1 460	1 630	131	2 420	1 660
1 640	1 850	147	2 290	1 520
1 680	1 990	157	2 250	1 420
1 870	2 220	173	2 130	1 320
2 060	2 460	190	2 030	1 230
2 220	2 650	207	1 940	1 160
2 440	2 950	225	1 830	1 080
2 800	3 400	265	1 690	950

Abfrage zur Lagerberechnung

(Zeichnung beigelegt: ja/ nein)

Bauart (Die Prinzipskizzen hierzu finden Sie ab Abschnitt Freischwinger mit kreisförmiger Schwingbewegung, Seite 15, bis Abschnitt Exzentrersieb, Seite 21)

Kreissieb

Linearsieb

Exzentrersieb

Lastkollektiv/Auslegungsdaten

Massen	kg	Siebkasten	m	_____
		Unwuchtgewichte (Erreger)	m_1	_____
Geometrie	m	Schwingradius	r	_____
		Abstand Erregerschwerpunkt/Lagerachse	R	_____
Drehzahl	min^{-1}	Betriebsdrehzahl	n	_____
Einsatzzeit		Stunden pro Tag		_____
		Ein- oder Mehrschichtbetrieb		_____
Lebensdauer	h	geforderte Mindestlebensdauer		_____

Lagerstelle/Einbaudaten

Einbaustelle	<input type="checkbox"/> Loslager	<input type="checkbox"/> Festlager	<input type="checkbox"/> schwimmende Lagerung
Lagersitz	<input type="checkbox"/> zylindrisch	<input type="checkbox"/> konisch	
Anzahl der Wälzlager	z	_____	
Lagersitzdurchmesser	mm	Welle _____	Passung _____
		Gehäuse _____	Passung _____
Weitere Abmessungen	mm	maximaler Durchmesser	_____
		minimaler Durchmesser	_____
		Breite	_____

Abfrage zur Lagerberechnung

(Zeichnung beigelegt: ja/ nein)

Umgebungseinfluss

Umgebungstemperatur °C _____

Siebgut (Heißsieb) °C _____

Betriebstemperatur °C _____

Feuchtigkeit % _____

Staub stark mittel wenig/kein

Chemische Einflüsse ja nein

Aufstellplatz Halle im Freien

Schmierung

Fett Ölsumpf Ölumlaufl Ölnebelschmierung

Abdichtung

nachschmierbare Labyrinth mit V-Ringen

Öl-Abspritzringe und Ölfangnuten

Sonstige Hinweise

**Schaeffler Technologies
AG & Co. KG**

Georg-Schäfer-Straße 30
97421 Schweinfurt
Deutschland
Internet www.fag.de
E-Mail faginfo@schaeffler.com

In Deutschland:

Telefon 0180 5003872
Telefax 0180 5003873

Aus anderen Ländern:

Telefon +49 9721 91-0
Telefax +49 9721 91-3435

Alle Angaben wurden sorgfältig erstellt und überprüft. Für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Technische Änderungen behalten wir uns vor.

© Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Ausgabe: 2017, November

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

TPI 197 D-D