

FAG Wälzlager

Grundlagen · Bauarten · Ausführungen



Inhalt · Einleitung

Inhalt

Das FAG-Wälzlagerprogramm	3
Wälzlagerbauarten	4
Wälzlagerteile	5
Rollkörper	5
Lagerringe	6
Käfige	6
Tragzahlen	8
Kombinierte Belastung	8
Dimensionierung	9
Statisch beanspruchte Lager	9
Gebrauchsdauer	9
Verschleiß	9
Dynamisch beanspruchte Wälzlager	10
Nominelle Lebensdauer	11
Erweiterte Lebensdauerberechnung	12
Schmierung	17
Fettschmierung	17
Ölschmierung	17
Wichtige Begriffe aus der Wälzlagerschmierung ..	17
Dichtungen	21
Drehzahleignung	22
Eignung für hohe Temperaturen	23
Lagerluft	24
Toleranzen	26
Winkeleinstellbarkeit	27
Passungen	28
Lageranordnung	29
Symbole für Belastbarkeit, Winkeleinstellbarkeit und Drehzahleignung	32
Rillenkugellager	33
Schräggugellager, einreihig	34
Spindellager	35
Schräggugellager, zweireihig	36
Vierpunktlager	37
Pendelkugellager	38
Zylinderrollenlager	39
Kegelrollenlager	41
Tonnenlager	43
Pendelrollenlager	44
Axial-Rillenkugellager	46
Axial-Schräggugellager	47
Axial-Zylinderrollenlager	48
Axial-Pendelrollenlager	49
Zusammengepaßte Wälzlager	50
Lagereinheiten	51
Checkliste für die Wälzlagerbestimmung	53
Sachverzeichnis	54
Auswahl weiterer FAG-Publikationen	56

Einleitung

Diese Technische Information enthält in Kurzform Grundwissen über FAG Wälzlager und soll als Einführung in die Technik der Wälzlager dienen. Sie ist für diejenigen gedacht, die noch keine oder nur geringe Kenntnisse über das Maschinenelement Wälzlager haben.

Wenn Sie Ihr Grundwissen am PC erweitern wollen, empfiehlt FAG das **Wälzlager-Lern-System W.L.S.** auf CD-ROM.

Im Text wird häufig auf den Katalog WL 41 520 „FAG Wälzlager“ hingewiesen. Er liefert dem Konstrukteur alle wesentlichen Angaben, die er zur sicheren und wirtschaftlichen Auslegung üblicher Wälzlagerungen benötigt.

Der **elektronische FAG Wälzlagerkatalog** stellt die herkömmlichen Softwarekataloge in den Schatten, denn er ist ein komfortables elektronisches Beratungssystem. Im Dialog unter WINDOWS können Sie das richtige FAG Wälzlager schnell auswählen und seine Lebensdauer, Drehzahl, Reibung, Temperatur und Überrollfrequenzen sicher berechnen. Sie sparen viel Arbeit und Zeit.

Wichtige, in der Wälzlagertechnik gebräuchliche Begriffe sind in der vorliegenden TI im Druck hervorgehoben und werden näher erläutert (siehe auch Sachverzeichnis auf Seite 54 und 55).

Über allgemeine Themen der Wälzlagertechnik und für spezielle Anwendungsgebiete gibt es eine große Anzahl von FAG-Fachpublikationen, die Sie unter Angabe der Publikationsnummer bei uns bestellen können. Eine Auswahl dieser Veröffentlichungen finden Sie auf Seite 56.

Das FAG-Wälzlagerprogramm

Das FAG-Wälzlagerprogramm

Das FAG-Wälzlagerprogramm bietet Wälzlager im Außendurchmesserbereich von 3 Millimetern bis zu 4,25 Metern sowie Gehäuse und Zubehörteile. Aus diesem Programm für die industrielle Erstausrüstung (OEM), den Handel und den Ersatzbedarf enthält der Katalog WL 41 520 „FAG Wälzlager“ einen Auszug. Mit den meist serienmäßig gefertigten Produkten aus dem Katalog können nahezu alle Anwendungsfälle abgedeckt werden. Damit Wälzlager, Gehäuse und Zubehörteile schnell verfügbar sind, passt FAG sein Vorratsprogramm permanent an.

FAG-Normwälzlager-Programm

Wälzlager in DIN/ISO-Abmessungen bilden den Schwerpunkt des Katalogs WL 41 520. Mit ihnen kann der Konstrukteur den größten Teil seiner Lagerungsaufgaben schnell und wirtschaftlich lösen.

FAG-Branchenprogramme

Für bestimmte Branchen hat FAG spezielle Branchenprogramme zusammengestellt. Neben Normwälzlagern enthalten diese Programme eine Vielzahl von Spezialausführungen, mit denen komplexere lagerungstechnische Aufgaben funktions-sicher und wirtschaftlich zu lösen sind.

Vierreihiges Zylinderrollenlager für Walzgerüste (oben)

Winkeleinstellbare Zylinderrollenlager für Papiermaschinen (Mitte)

FAG Normwälzlager, Gehäuse und Zubehör (unten)



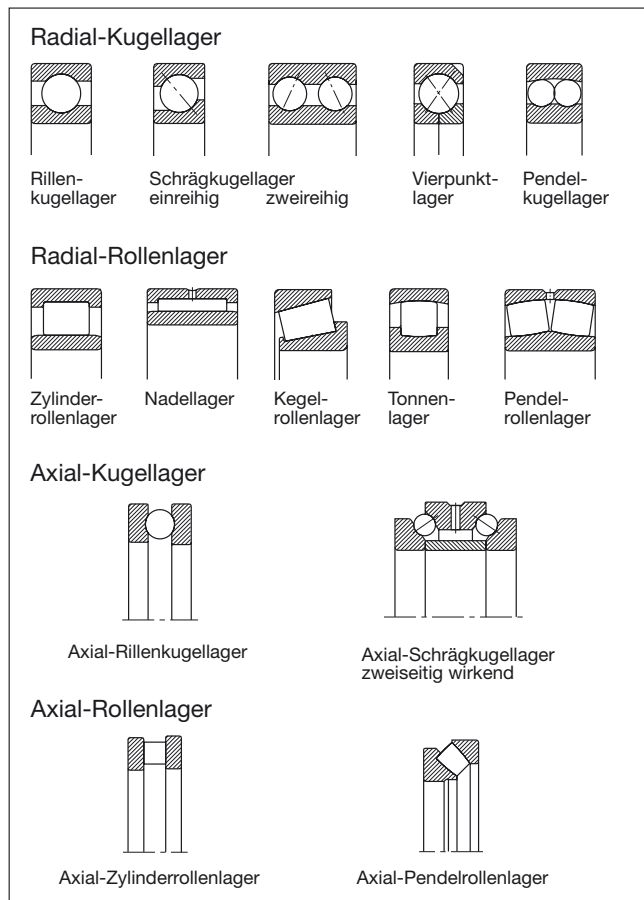
Wälzlagerbauarten

Wälzlagerbauarten

Für die verschiedenen Anforderungen stehen zahlreiche Wälzlagerbauarten mit genormten Hauptabmessungen zur Verfügung.

Die Wälzlager werden unterschieden:

- nach der Hauptbelastungsrichtung: in **Radiallager** und **Axiallager**. Radiallager haben einen **Nenndruckwinkel** α_0 von 0° bis 45° . Axiallager haben einen Nenndruckwinkel α_0 über 45° bis 90° .
- nach Art der *Rollkörper*: in **Kugellager** und **Rollenlager**.



Der wesentliche Unterschied zwischen Kugellager und Rollenlager:

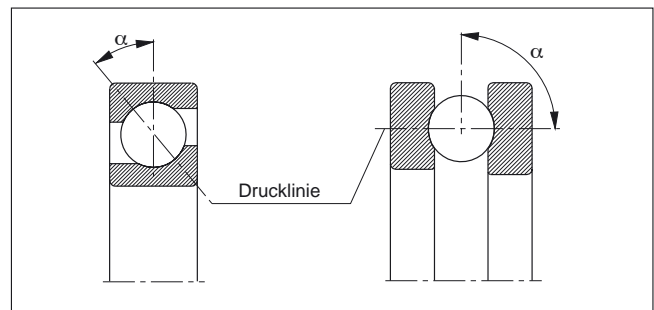
- Kugellager: geringere Belastbarkeit, höhere *Drehzahl-eignung*
- Rollenlager: höhere Belastbarkeit, geringere *Drehzahl-eignung*

Weitere Unterscheidungsmerkmale:

- *Zerlegbarkeit*
- axiale Verschiebbarkeit der Lagerringe zueinander (Eignung als ideale *Loslager*)
- *Winkeleinstellbarkeit* des Lagers

Druckwinkel

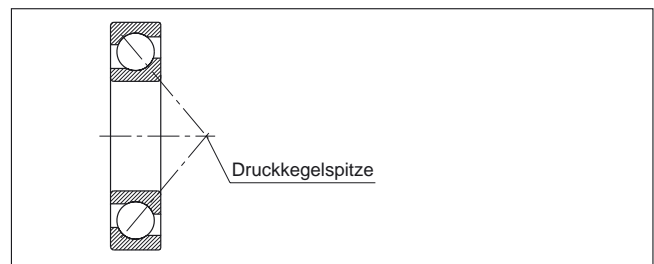
In Richtung der **Drucklinien** übertragen die *Rollkörper* die Kräfte von dem einen *Lagerring* auf den anderen. Der Druckwinkel α ist der Winkel, den die Drucklinien mit der Radialebene des Lagers einschließen. Mit α_0 bezeichnet man den Nenndruckwinkel, das ist der Druckwinkel des unbelasteten Lagers. Bei axialer Belastung vergrößert sich bei Rillenkugellagern, Schrägkugellagern usw. der Druckwinkel. Bei *kombinierter Belastung* ändert er sich von *Rollkörper* zu *Rollkörper*. Diese Druckwinkeländerung wird bei der Berechnung der Druckverteilung im Lager berücksichtigt.



Kugellager und *Rollenlager* mit symmetrischen Rollkörpern haben am Innen- und Außenring denselben Druckwinkel. Bei Rollenlagern mit unsymmetrischen Rollen sind die Druckwinkel am Innenring und am Außenring verschieden. Aus Gründen des Kräftegleichgewichts tritt bei diesen Lagern eine Kraftkomponente auf, die auf den Bord gerichtet ist.

Druckkegelspitze

Als Druckkegelspitze bezeichnet man den Punkt, in dem sich die *Drucklinien* eines *Schräglagers*, also eines Schrägkugellagers, Kegellageres oder Axial-Pendelrollenlagers, auf der Lagerachse schneiden. Die *Drucklinien* sind Mantellinien des Druckkegels.



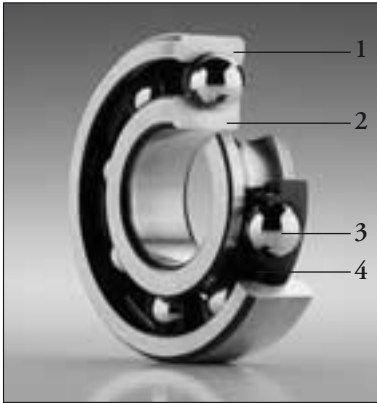
Bei *Schräglagern* greifen die äußeren Kräfte nicht in der Lagermitte, sondern in der Druckkegelspitze an. Das ist bei der Berechnung der *dynamisch äquivalenten Belastung* P und der *statisch äquivalenten Belastung* P_0 zu berücksichtigen.

Wälzlagererteile

Rollkörper

Wälzlagererteile

Wälzlager bestehen im Allgemeinen aus den *Lagerringen* (Innenring und Außenring), den *Rollkörpern*, die auf den Laufbahnen der Ringe abrollen, und einem *Käfig*, der die Rollkörper umgibt.



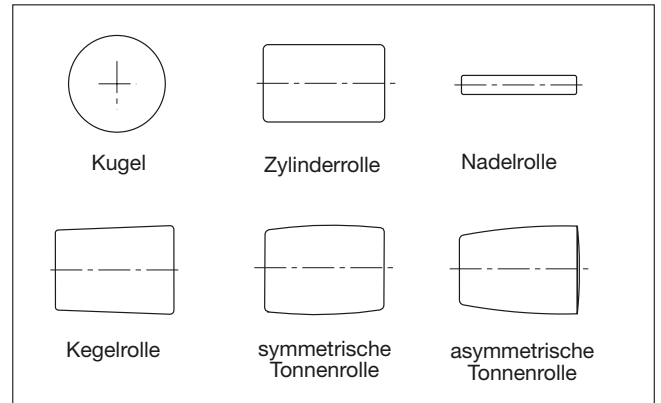
1 Außenring, 2 Innenring, 3 Rollkörper, 4 Käfig

Zu den Bestandteilen eines Wälzlagers muss auch der Schmierstoff (i. allg. *Schmierfett* oder *Schmieröl*) gezählt werden; denn ohne Schmierstoff ist ein Lager kaum funktionsfähig. In zunehmendem Maß werden auch *Dichtungen* in das Lager integriert.

Das Material für Ringe und Rollkörper von FAG Wälzlager ist im Normalfall ein niedrig legierter, durchhärtender Chromstahl mit der Werkstoffnummer 1.3505, DIN-Bezeichnung 100 Cr 6.

Rollkörper

Die Rollkörper sind nach ihrer Form unterteilt in Kugeln, Zylinderrollen, Nadelrollen, Kegelrollen und Tonnenrollen.



Aufgabe der Rollkörper ist es, die auf das Lager wirkende Kraft von einem Lagerring auf den anderen zu übertragen. Für eine hohe Tragfähigkeit ist wichtig, dass möglichst viele und möglichst große Rollkörper zwischen den *Lagerringen* untergebracht sind. Anzahl und Größe hängen vom Querschnitt des Lagers ab.

Für die Belastbarkeit ist es ebenfalls wichtig, dass die Rollkörper innerhalb eines Lagers gleich groß sind. Deshalb sind sie nach Größe sortiert. Die Toleranz einer Sorte ist sehr gering.

Die Mantellinie hat bei den Zylinderrollen und Kegelrollen ein logarithmisches Profil. Diese Profilform verhindert bei normaler Belastung und einer Schiefstellung zwischen Innen- und Außenring bis 4' lebensdauerermindernde Kantenspannungen.

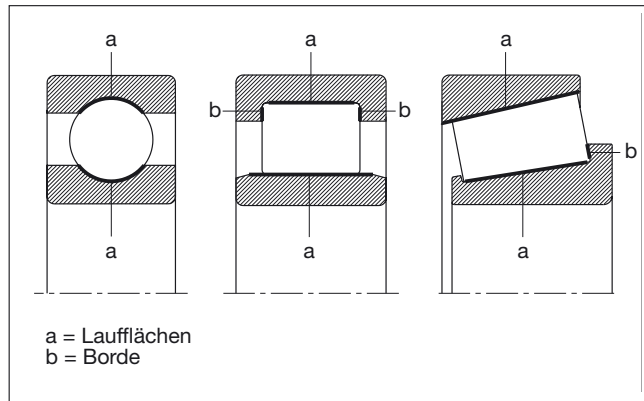
Neben Rollkörpern aus Stahl werden immer öfter solche aus Keramik verwendet, üblicherweise aus Siliziumnitrid. Wälzlager mit Ringen aus Stahl und Rollkörpern aus Keramik bezeichnet man als Hybridlager. Bekanntestes Beispiel sind Hybrid-*Spindellager*. Keramikugeln mit ihrem deutlich geringeren Gewicht senken Fliehkraft und Reibung und erhöhen die *Lebensdauer*. Die *Drehzahlleistung* wird erheblich verbessert. Wegen der geringeren Erwärmung wird die Beanspruchung des Schmierstoffs geringer. Bis in hohe Drehzahlbereiche kann die vorteilhafte *Fettschmierung* beibehalten und somit der hohe Aufwand für *Ölschmierung* vermieden werden.

Wälzlagerteile

Lagerringe · Käfige

Lagerringe

Die Lagerringe – Innen- und Außenring – führen die *Rollkörper* in Drehrichtung. Die Führung und die Übertragung von Axialbelastungen in Querrichtung übernehmen Laufbahnrillen, Borde und schräge Laufbahnflächen. Zylinderrollenlager NU und N haben nur an einem Lagerring Borde; als *Loslager* können sie deshalb Wellendehnungen ausgleichen.



Bei **zerlegbaren** Wälzlagern können beide Ringe getrennt eingebaut werden. Das ist bei fester *Passung* (siehe Seite 28) für beide Lagerringe von Vorteil.

Zerlegbar sind z. B. Vierpunktlager, zweireihige Schrägkugellager mit einem geteilten Ring, Zylinderrollenlager, Kegelrollenlager, Axial-Rillenkugellager, Axial-Zylinderrollenlager und Axial-Pendelrollenlager.

Nicht zerlegbar sind dagegen z. B. Rillenkugellager, einreihige Schrägkugellager, Pendelkugellager, Tonnenlager und Pendelrollenlager.

Käfige

Aufgaben des Käfigs:

- Er hält die *Rollkörper* voneinander getrennt, damit sie nicht aneinander reiben.
- Er hält die Rollkörper in gleichem Abstand zur gleichmäßigen Lastverteilung.
- Er verhindert bei *zerlegbaren* und ausschwenkbaren Lagern das Herausfallen der Rollkörper.
- Er führt die Rollkörper in der unbelasteten Zone des Lagers.

Keine Aufgabe des Käfigs: Kräfte zu übertragen.

Die Käfige werden unterteilt in *Blechkäfige* und *Massivkäfige*.

Blechkäfige werden meist aus Stahl, manchmal auch aus Messing hergestellt. Im Vergleich zu Massivkäfigen aus Metall haben sie den Vorteil des geringeren Gewichts. Weil ein Blechkäfig den Spalt zwischen Innenring und Außenring nur wenig ausfüllt, gelangt Schmierstoff leicht ins Lagerinnere. Am Käfig wird er gespeichert.



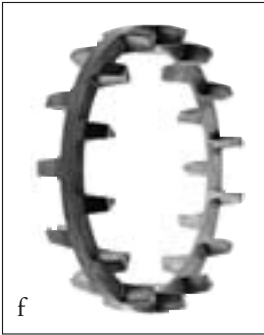
Blechkäfige aus Stahl: Lappenkäfig (a) und Nietkäfig (b) für Rillenkugellager, Fensterkäfig (c) für Pendelrollenlager

Massivkäfige aus Metall und Hartgewebe werden durch spanabhebende Bearbeitung hergestellt. Als Ausgangsmaterial dienen Rohre aus Stahl, Leichtmetall oder Hartgewebe oder gegossene Ringe aus Messing.

Diese Käfige kommen vor allem für Lager in Betracht, die in kleinen Serien gefertigt werden. Aus Festigkeitsgründen erhalten große, hochbelastete Lager Massivkäfige. Diese werden auch verwendet, wenn eine Bordführung des Käfigs notwendig ist. Bordgeführte Käfige für schnellaufende Lager werden vielfach aus leichten Werkstoffen wie Leichtmetall oder Hartgewebe gefertigt, damit die Massenkräfte klein bleiben.

Wälzlagerenteile

Käfige



Massivkäfige aus Messing:
Genieteteter Massivkäfig (d) für
Rillenkugellager, Fensterkäfig
(e) für Schrägkugellager,
Doppelkammkäfig (f) für
Pendelrollenlager

Massivkäfige aus Polyamid 66 werden durch Spritzgießen hergestellt und in zahlreichen Großserienlagern verwendet.

Mit dem Spritzgießverfahren können Käfigformen verwirklicht werden, die besonders tragfähige Konstruktionen ergeben. Die Elastizität und das geringe Gewicht der Käfige wirken sich günstig aus bei stoßartigen Lagerbeanspruchungen, hohen Beschleunigungen und Verzögerungen sowie Verkip-pungen der Lagerringe zueinander. Polyamidkäfige haben sehr gute Gleit- und Notlauf-eigenschaften.

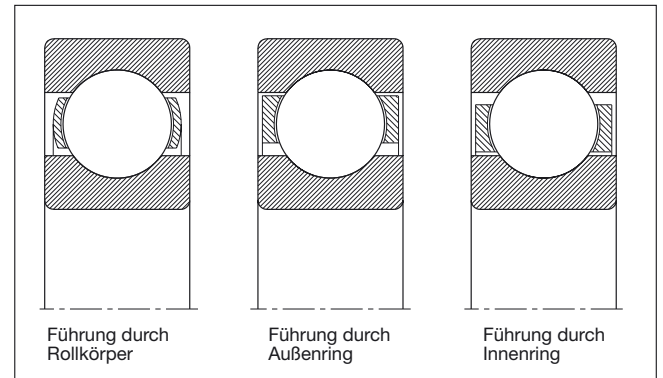


Massivkäfige aus glasfaserverstärktem Polyamid: Fensterkäfig (g) für einreihiges Schrägkugellager, Fensterkäfig (h) für Zylinderrollenlager, Doppelkammkäfig (i) für Pendelkugellager

Käfige aus glasfaserverstärktem Polyamid PA66 eignen sich für Dauertemperaturen bis +120 °C. Bei *Ölschmierung* können im Öl enthaltene *Additive* zu einer Beeinträchtigung der Käfigge-brauchsdauer führen. Auch gealtertes Öl kann bei höheren Temperaturen die Käfiggebrauchsdauer beeinträchtigen, so dass auf die Einhaltung der Ölwechselfristen zu achten ist. Einsatzgrenzen von Wälzlagern mit Käfigen aus Polyamid PA66-GF25 siehe Katalog WL 41 520, Seite 85. Eine Über-sicht über die Käfige enthält TI Nr. WL 95-4.

Ein anderes Unterscheidungsmerkmal für Käfige ist die **Führungsart**.

- Am häufigsten: Führung durch die *Rollkörper* (kein speziel-les Nachsetzzeichen)
- Führung durch den Außenring (Nachsetzzeichen A)
- Führung durch den Innenring (Nachsetzzeichen B)



Bei normalen Betriebsbedingungen eignet sich in der Regel die Käfigausführung, die als Standardausführung festgelegt ist. Die Standardkäfige können innerhalb einer Lagerreihe je nach der Lagergröße unterschiedlich sein, vgl. Abschnitt "Pendelrollenlager". Bei besonderen Betriebsbedingungen muss ein speziell dafür geeigneter Käfig gewählt werden.

Regeln für das **Käfigkurzzeichen** beim Lagerkurzzeichen:

- Ist ein *Blechkäfig* der Normalkäfig: kein Kurzzeichen für den Käfig
- Ist der Käfig ein *Massivkäfig*: Kurzzeichen für den Käfig, egal ob Normal- oder Sonderkäfig
- Ist ein *Blechkäfig* nicht Normalausführung: Kurzzeichen für den Käfig

Sonderausführungen von Wälzlagern und einige Reihen von Zylinderrollenlagern – sog. vollrollige Lager – gibt es auch ohne Käfig. Durch das Weglassen des Käfigs passen mehr *Rollkörper* in das Lager. Dadurch erhöht sich die *Tragzahl*, wegen der höheren Reibung ist jedoch die *Drehzahleignung* geringer.

Tragzahlen · Kombinierte Belastung

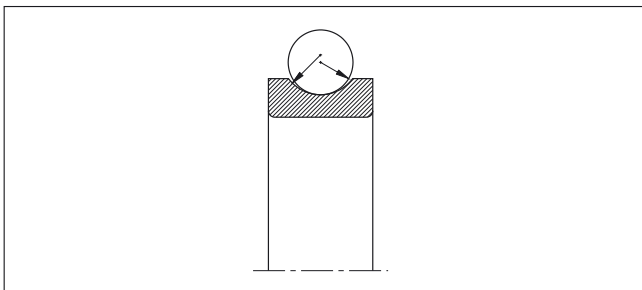
Tragzahlen

Die Tragzahlen geben die Belastbarkeit an und sind wichtig bei der *Dimensionierung* der Wälzlager. Sie werden bestimmt von der Anzahl und Größe der *Rollkörper*, von der *Schmiegun*g, vom *Druckwinkel* und vom Teilkreisdurchmesser. Wegen der größeren Kontaktfläche zwischen Rollkörpern und Laufflächen sind die Tragzahlen bei *Rollenlagern* größer als bei *Kugellagern*.

Bei *Radiallagern* ist die Tragzahl für Radialbelastung, bei *Axiallagern* für Axialbelastung festgelegt. Jedes Wälzlager hat eine dynamische Tragzahl und eine statische Tragzahl. Die Bezeichnung "dynamisch" oder "statisch" bezieht sich auf die Bewegung des Lagers, nicht aber auf die Belastungsart.

Bei allen Wälzlagern, deren Laufbahnprofil im Axialschnitt gekrümmt ist, hat die Laufbahn einen etwas größeren Radius als der *Rollkörper*. Dieser Krümmungsunterschied in der Axialebene wird durch die **Schmiegun**g κ gekennzeichnet. Man versteht darunter das auf den Rollkörperradius bezogene Rillenübermaß.

$$\text{Schmiegun } \kappa = \frac{\text{Rillenradius} - \text{Rollkörperradius}}{\text{Rollkörperradius}}$$



Dynamische Tragzahl

Tragzahlvergleich einiger Wälzlagerbauarten mit d = 25 mm Bohrung

Wälzlager	Dyn. Tragzahl C kN
Rillenkugellager 6205	14
Zylinderrollenlager NU205E	29
Kegelrollenlager 30205A	32,5
Pendelrollenlager 22205E	43

Die dynamische Tragzahl C ist ein Maß für die Tragfähigkeit eines Wälzlagers bei dynamischer Belastung, bei der sich die Lagerringe relativ zueinander drehen. Sie ist definiert als die in Größe und Richtung unveränderliche Belastung, die ein Wälzlager theoretisch für eine *nominelle Lebensdauer* von 1 Mio. Umdrehungen aufnehmen kann (DIN ISO 281).

Statische Tragzahl

Bei statischer Beanspruchung liegt keine oder eine sehr langsame Relativbewegung zwischen den *Lagerringen* vor. Eine Belastung in Höhe der statischen Tragzahl C_0 erzeugt in der Mitte der am höchsten belasteten Berührstelle zwischen *Rollkörper* und Laufbahn eine Hertzsche Flächenpressung von etwa

4600 N/mm² bei Pendelkugellagern,
4200 N/mm² bei allen anderen Kugellagern,
4000 N/mm² bei allen Rollenlagern

Bei Belastung mit C_0 tritt an der am höchsten belasteten Berührstelle eine bleibende Gesamtverformung von Rollkörper und Laufbahn von etwa 0,01 % des Rollkörperdurchmessers auf (DIN ISO 76).

Kombinierte Belastung

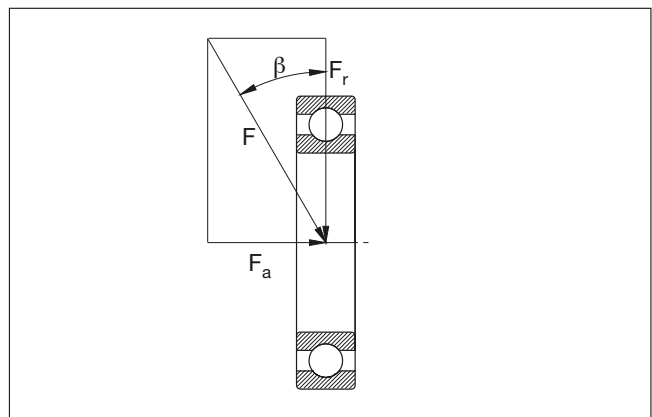
Von kombinierter Belastung spricht man, wenn ein Wälzlager gleichzeitig radial und axial belastet ist, die resultierende Belastung somit unter dem *Lastwinkel* β angreift.

Mit der Radialkomponente F_r und der Axialkomponente F_a der kombinierten Belastung wird bei der Lagerberechnung je nach der Belastungsart die *statisch äquivalente Belastung* P_0 (Seite 9) oder die *dynamisch äquivalente Belastung* P (Seite 10) ermittelt.

Lastwinkel

Der Lastwinkel β ist der Winkel zwischen der Wirkungslinie der resultierenden äußeren Belastung F und der Radialebene des Lagers. Er ergibt sich aus der Radialkomponente F_r und der Axialkomponente F_a zu:

$$\tan \beta = F_a / F_r$$



Dimensionierung

Statisch beanspruchte Lager · Gebrauchsdauer · Verschleiß

Dimensionierung

Durch die Dimensionierungsrechnung prüft man, ob die Forderungen an *Gebrauchsdauer*, an statische Sicherheit oder an Wirtschaftlichkeit der Lagerung erfüllt sind. Bei dieser Rechnung wird die Beanspruchung des Wälzlagers mit seiner Tragfähigkeit verglichen. In der Wälzlager-technik unterscheidet man zwischen *statischer* und *dynamischer* Beanspruchung.

Erheblich erleichtert wird die Dimensionierungsrechnung durch den **elektronischen FAG-Wälzlagerkatalog**, vgl. auch Einleitung auf Seite 2.

Statisch beanspruchte Wälzlager

Als statische Belastung bezeichnet man eine Belastung des stillstehenden Lagers (keine Relativbewegung zwischen den *Lagerringen*). "Statisch" bezieht sich also auf den Betriebszustand des Lagers, nicht aber auf die Wirkungsweise der Belastung. Die Höhe der Belastung und ihre Wirkungsrichtung können sich ändern.

Langsam schwenkende oder mit geringer Drehzahl ($n < 10 \text{ min}^{-1}$) umlaufende Lager werden wie statisch belastete Lager berechnet (vgl. *dynamisch beanspruchte Wälzlager*, Seite 10).

Bei statischer Beanspruchung prüft man die Sicherheit gegen zu große plastische Verformung der Laufbahnen und *Rollkörper*.

Statisch äquivalente Belastung P_0

Bei *statisch beanspruchten* Wälzlager, die einer *kombinierten Belastung* ausgesetzt sind, rechnet man mit der statisch äquivalenten Belastung. Sie ist bei *Radiallagern* eine radiale, bei *Axiallagern* eine axiale und zentrische Belastung, die gleich große plastische Verformungen hervorruft wie die *kombinierte Belastung*. Die statisch äquivalente Belastung P_0 berechnet man mit der Formel

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

F_r Radialbelastung

F_a Axialbelastung

X_0 Radialfaktor (siehe FAG-Kataloge)

Y_0 Axialfaktor (siehe FAG-Kataloge)

Statische Kennzahl f_s

Bei *statischer Belastung* errechnet man zur Kontrolle, ob ein ausreichend tragfähiges Lager gewählt wurde, die statische Kennzahl f_s . Sie ergibt sich aus der *statischen Tragzahl* C_0 (siehe Seite 8) und der *statisch äquivalenten Belastung* P_0 .

$$f_s = \frac{C_0}{P_0}$$

Die Kennzahl f_s ist ein Maß für die Sicherheit gegen eine zu große plastische Gesamtverformung an der Berührungsstelle Laufbahn/höchstbelasteter *Rollkörper*.

Für Lager, die sehr leichtgängig sein müssen und besonders ruhig laufen sollen, ist eine große Kennzahl f_s erforderlich. Kleinere Werte genügen bei geringen Ansprüchen an die Laufruhe. Im Allgemeinen strebt man an:

$f_s = 1,5 \dots 2,5$	bei hohen Ansprüchen
$f_s = 1 \dots 1,5$	bei normalen Ansprüchen
$f_s = 0,7 \dots 1$	bei geringen Ansprüchen

Gebrauchsdauer

Die Gebrauchsdauer ist die Laufzeit, während der das Lager in Betrieb bleibt, weil es ausreichend zuverlässig funktioniert.

Die *Ermüdungslaufzeit* (vgl. Abschnitt "Lebensdauer", Seite 10) ist die obere Grenze der Gebrauchsdauer. Infolge *Verschleiß* oder Versagens der Schmierung wird diese Grenze oft nicht erreicht.

Verschleiß

Die *Gebrauchsdauer* der Wälzlager kann außer durch *Ermüdung* durch Verschleiß beendet werden. Dabei wird das Spiel der Lagerung zu groß.

Eine häufige Ursache für Verschleiß sind Fremdkörper, die infolge unzureichender *Abdichtung* ins Lager gelangen und als Schmirgel wirken. Auch bei Mangelschmierung und verbrauchtem Schmierstoff entsteht Verschleiß.

Entscheidend für wenig Verschleiß sind also gute Schmierung (*Viskositätsverhältnis* κ möglichst > 2) und hohe Sauberkeit im Wälzlager. Bei $\kappa \leq 0,4$ dominiert der Verschleiß im Lager, wenn er nicht durch entsprechende *Additive* (EP-Zusätze) unterbunden wird.

Dimensionierung

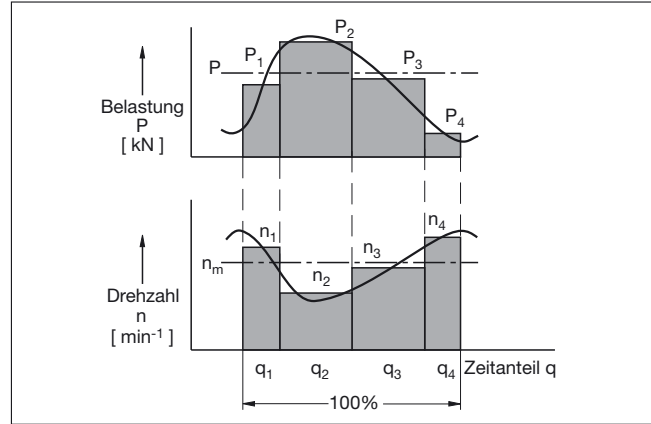
Dynamisch beanspruchte Lager · Lebensdauer

Dynamisch beanspruchte Wälzlager

Dynamisch beansprucht sind Wälzlager, deren Ringe sich unter Belastung relativ zueinander drehen. "Dynamisch" bezieht sich also auf den Betriebszustand des Lagers, nicht auf die Wirkungsweise der Belastung. Die Höhe der Belastung und ihre Wirkungsrichtung können konstant bleiben.

Bei der Berechnung der Lager wird eine dynamische Beanspruchung angenommen, wenn die Drehzahl n mindestens 10 min^{-1} beträgt (vgl. *statische Beanspruchung*).

Bei dynamisch beanspruchten Lagern prüft man die Sicherheit gegen vorzeitige Materialermüdung der Laufbahnen und *Rollkörper*.

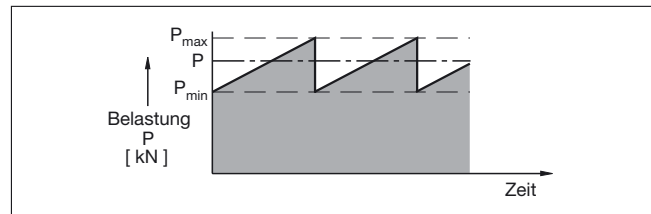


Ist die Belastung veränderlich, die Drehzahl aber konstant, erhält man:

$$P = \sqrt[3]{P_1^3 \cdot \frac{q_1}{100} + P_2^3 \cdot \frac{q_2}{100} + \dots} \text{ [kN]}$$

Wächst bei konstanter Drehzahl die Belastung linear von einem Kleinstwert P_{\min} auf einen Größtwert P_{\max} , dann erhält man:

$$P = \frac{P_{\min} + 2P_{\max}}{3} \text{ [kN]}$$



Bei der *erweiterten Lebensdauerberechnung* (Seite 12 ff.) darf **nicht** mit dem Mittelwert der dynamisch äquivalenten Belastung gerechnet werden. Vielmehr ist für jede Wirkungsdauer mit konstanten Bedingungen die *erreichbare Lebensdauer* zu bestimmen.

Lebensdauer

Als Lebensdauer der *dynamisch beanspruchten* Wälzlager gibt DIN ISO 281 die Laufzeit bis zum Ausfall durch Werkstoffermüdung (*Ermüdungslaufzeit*) an.

Mit dem herkömmlichen Berechnungsverfahren, einer Vergleichsrechnung, bestimmt man die *nominale Lebensdauer L* oder L_b , mit der verfeinerten Methode nach dem FAG-Rechenverfahren die *erreichbare Lebensdauer L_{na}* oder L_{bna} (siehe auch *Faktor a₂₃*).

Dynamisch äquivalente Belastung P

Bei dynamisch beanspruchten Wälzlager, die unter *kombinierter Belastung* laufen, rechnet man mit der dynamisch äquivalenten Belastung. Sie ist bei *Radiallagern* eine radiale, bei *Axiallagern* eine axiale und zentrische Belastung, die hinsichtlich der *Ermüdung* die gleiche Wirkung wie die *kombinierte Belastung* hat. Die dynamisch äquivalente Belastung P berechnet man mit der Formel

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

- F_r Radialbelastung
- F_a Axialbelastung
- X Radialfaktor
- Y Axialfaktor

Veränderliche Belastung und Drehzahl

Ändern sich die Belastung und die Drehzahl mit der Zeit, dann muss das bei der Berechnung der dynamisch äquivalenten Belastung berücksichtigt werden. Man nähert den Kurvenverlauf durch eine Reihe von Einzelkräften und -drehzahlen mit einer bestimmten Wirkungsdauer q [%] an. Für diesen Fall ergibt sich die dynamisch äquivalente Belastung P aus

$$P = \sqrt[3]{P_1^3 \cdot \frac{n_1}{n_m} \cdot \frac{q_1}{100} + P_2^3 \cdot \frac{n_2}{n_m} \cdot \frac{q_2}{100} + \dots} \text{ [kN]}$$

und die mittlere Drehzahl n_m aus:

$$n_m = n_1 \cdot \frac{q_1}{100} + n_2 \cdot \frac{q_2}{100} + \dots \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Dimensionierung

Dynamisch beanspruchte Lager · Nominelle Lebensdauer

Nominelle Lebensdauer

Das genormte Berechnungsverfahren (DIN ISO 281) für *dynamisch beanspruchte Wälzlager* beruht auf der Werkstoffermüdung (Pittingbildung) als Ausfallursache. Die Lebensdauerformel lautet

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p \left[10^6 \text{ Umdrehungen} \right]$$

L_{10} ist die nominelle Lebensdauer in Millionen Umdrehungen, die mindestens 90 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten.

In der Formel bedeuten:

- C *dynamische Tragzahl* (siehe Seite 8)
- P *dynamisch äquivalente Belastung* (siehe Seite 10)
- p **Lebensdauerexponent**
p = 3 für *Kugellager*
p = $\frac{10}{3}$ für *Rollenlager*

Wenn die Drehzahl des Lagers konstant ist, kann man die Lebensdauer in Stunden ausdrücken.

$$L_{h10} = L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60} [\text{h}]$$

- L nominelle Lebensdauer [10⁶ Umdrehungen]
- n Drehzahl [min⁻¹]

L_h kann auch mit Hilfe der *dynamischen Kennzahl* f_L bestimmt werden.

Die nominelle Lebensdauer L oder L_h gilt für Lager aus konventionellem Wälzlagerstahl und übliche Betriebsverhältnisse (gute Schmierung, keine extreme Temperatur, normale Sauberkeit).

Die nominelle Lebensdauer weicht mehr oder weniger von der praktisch *erreichbaren Lebensdauer* der Wälzlager ab. Die Einflüsse wie Schmierfilmdicke, Sauberkeit im Schmierpalt, Schmierstoff*additivierung* und Lagerbauart werden bei der *erweiterten Lebensdauerberechnung* mit dem *Faktor a₂₃* berücksichtigt.

Dynamische Kennzahl f_L

Es ist zweckmäßig, den Richtwert für die Dimensionierung statt in Stunden in Form der dynamischen Kennzahl f_L anzugeben. Sie errechnet sich aus der *dynamischen Tragzahl* C, der *dynamisch äquivalenten Belastung* P und dem *Drehzahlfaktor* f_n .

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n$$

Der Wert f_L , der für eine richtig dimensionierte Lagerung erreicht werden soll, ergibt sich aus Erfahrung mit gleichen oder ähnlichen Lagerungen, die sich in der Praxis bewährt haben. Die in verschiedenen FAG-Publikationen aufgeführten Werte berücksichtigen nicht nur die ausreichende *Ermüdungslaufzeit*, sondern auch andere Forderungen, wie geringes Gewicht bei Leichtbaukonstruktionen, Anpassung an vorgegebene Umbauteile, außergewöhnliche Belastungsspitzen und dergleichen. Die f_L -Werte sind der technischen Weiterentwicklung angeglichen. Beim Vergleich mit einer bewährten Lagerung muss man die Beanspruchung nach derselben Methode wie früher bestimmen.

Der **Drehzahlfaktor** f_n ist eine Hilfsgröße. Er dient anstelle der Drehzahl n zur Bestimmung der *dynamischen Kennzahl* f_L .

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

p = 3 für *Kugellager*

p = $\frac{10}{3}$ für *Rollenlager*

Aus dem errechneten f_L -Wert kann man die nominelle Lebensdauer L_h in Stunden ermitteln.

$$L_h = 500 \cdot f_L^p$$

X-life-Lösungen für extreme Bedingungen

Entspricht bei extremen Betriebsbedingungen der errechnete Lebensdauerwert nicht den Anforderungen, sollte gemeinsam mit dem X-life-Ansprechpartner bei FAG eine geeignete Lösung gesucht werden. Mit einer X-life-Lösung sind in der Regel sowohl die Erwartungen an die Standzeit als auch die an die Gesamtwirtschaftlichkeit zu erfüllen, vgl. auch FAG-Publ.-Nr. WL 43 167.

Dimensionierung

Dynamisch beanspruchte Lager · Erweiterte Lebensdauerberechnung

Erweiterte Lebensdauerberechnung

Die *nominelle Lebensdauer* L oder L_h weicht mehr oder weniger von der praktisch *erreichbaren Lebensdauer* der Wälzlager ab.

Deshalb werden zusätzlich zur Belastung in der erweiterten Lebensdauerberechnung weitere wichtige Betriebsbedingungen berücksichtigt.

X-life-Lösungen für extreme Betriebsbedingungen siehe auch Seite 11.

Modifizierte Lebensdauer

Die Norm DIN ISO 281 hat zusätzlich zur *nominellen Lebensdauer* L_{10} die modifizierte Lebensdauer L_{na} eingeführt, um zusätzlich zur Belastung den Einfluss der Ausfallwahrscheinlichkeit (*Faktor* a_1) sowie des Werkstoffs (*Faktor* a_2) und der Betriebsbedingungen (*Faktor* a_3) zu berücksichtigen.

Für den *Faktor* a_{23} ($a_{23} = a_2 \cdot a_3$) wurden in DIN ISO 281 keine Zahlenwerte angegeben. Beim FAG-Berechnungsverfahren für die *erreichbare Lebensdauer* (L_{na} , L_{hna}) können Betriebsbedingungen dagegen mit dem *Faktor* a_{23} zahlenmäßig erfasst werden.

Faktor a_1

Im Normalfall (*nominelle Lebensdauer* L_{10}) rechnet man mit 10 % Ausfallwahrscheinlichkeit. Um zur Berechnung der *erreichbaren Lebensdauer* auch Ausfallwahrscheinlichkeiten zwischen 10 und 1 % berücksichtigen zu können, wird der Faktor a_1 benutzt, siehe folgende Tafel.

Ausfallwahrscheinlichkeit %	10	5	4	3	2	1
Ermüdungslaufzeit	L_{10}	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1
Faktor a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Erreichbare Lebensdauer L_{na} , L_{hna} nach FAG

Das FAG-Rechenverfahren zur Ermittlung der erreichbaren Lebensdauer (L_{na} , L_{hna}) lehnt sich an DIN ISO 281 (vgl. *Modifizierte Lebensdauer*) an. Es berücksichtigt zahlenmäßig die Einflüsse der Betriebsbedingungen auf die *Lebensdauer* der Wälzlager.

Es gilt

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L \quad [10^6 \text{ Umdrehungen}]$$

und

$$L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h \quad [\text{h}]$$

- a_1 *Faktor* a_1 für Ausfallwahrscheinlichkeit; normalerweise wird $a_1 = 1$ angesetzt für 10 % Ausfallwahrscheinlichkeit
- a_{23} *Faktor* a_{23} (*Lebensdauer-Anpassungsfaktor*)
- L *nominelle Lebensdauer* [10^6 Umdrehungen]
- L_h *nominelle Lebensdauer* [h]

Veränderliche Betriebsbedingungen

Ändern sich die Größen, die die Lebensdauer beeinflussen (z. B. Belastung, Drehzahl, Temperatur, Sauberkeit, Sorte und Beschaffenheit des Schmierstoffs), dann ist für jede Wirkungs-dauer q [%] mit konstanten Bedingungen die erreichbare Lebensdauer (L_{hna1} , L_{hna2} , ...) zu ermitteln. Die Gesamtlebensdauer wird errechnet mit der Formel

$$L_{hna} = \frac{100}{\frac{q_1}{L_{hna1}} + \frac{q_2}{L_{hna2}} + \frac{q_3}{L_{hna3}} + \dots}$$

Faktor a_{23} (Lebensdauer-Anpassungsfaktor)

Mit dem Faktor a_{23} ($= a_2 \cdot a_3$, vgl. "Modifizierte Lebensdauer") erfasst FAG nicht nur den Einfluss von Werkstoff und Schmierung, sondern auch die Höhe der Lagerbelastung und die Lagerbauart sowie den Einfluss der Sauberkeit im Schmier-spalt.

Der Faktor a_{23} wird bestimmt durch die Schmierfilmbildung im Lager, d. h. durch das **Viskositätsverhältnis** $\kappa = \nu/\nu_1$.

Dimensionierung

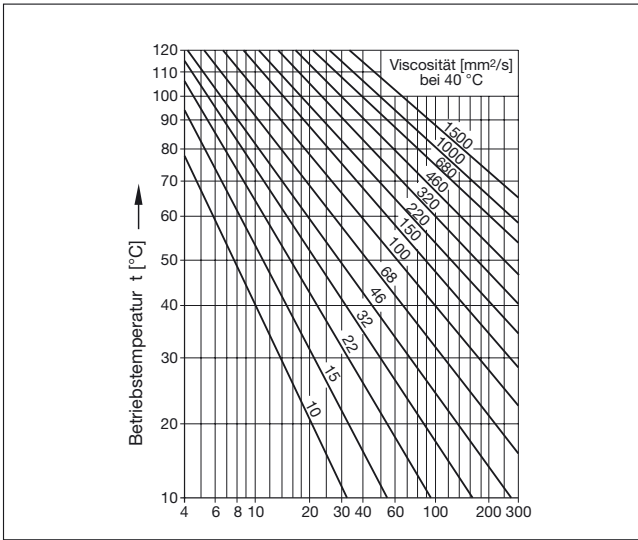
Dynamisch beanspruchte Lager · Erweiterte Lebensdauerberechnung

- ν *Betriebsviskosität* des Schmierstoffs, abhängig von der *Nennviskosität* (bei 40 °C) und der Betriebstemperatur (Bild 1). Bei Schmierfetten setzt man für ν die *Betriebsviskosität* des *Grundöls* ein.
- ν_1 *Bezugsviskosität*, abhängig vom mittleren Lagerdurchmesser und der Betriebsdrehzahl (Bild 2).

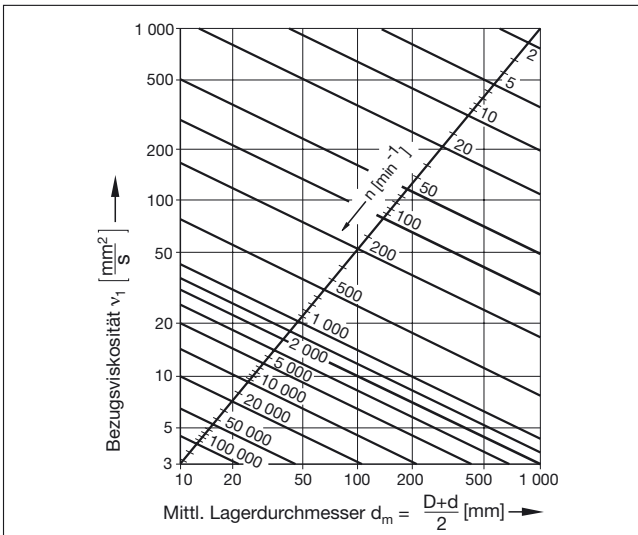
Das Bild 3 zur Bestimmung des Faktors a_{23} ist in die Bereiche I, II und III unterteilt.

Der größte Teil aller Anwendungsfälle in der Wälzlagertechnik ist dem Bereich II zuzuordnen. Er gilt für normale Sauberkeit (*Verunreinigungs-kenngröße* $V = 1$).

1: Durchschnittliches Viskositäts-Temperatur-Verhalten von Mineralölen



2: Bezugsviskosität ν_1

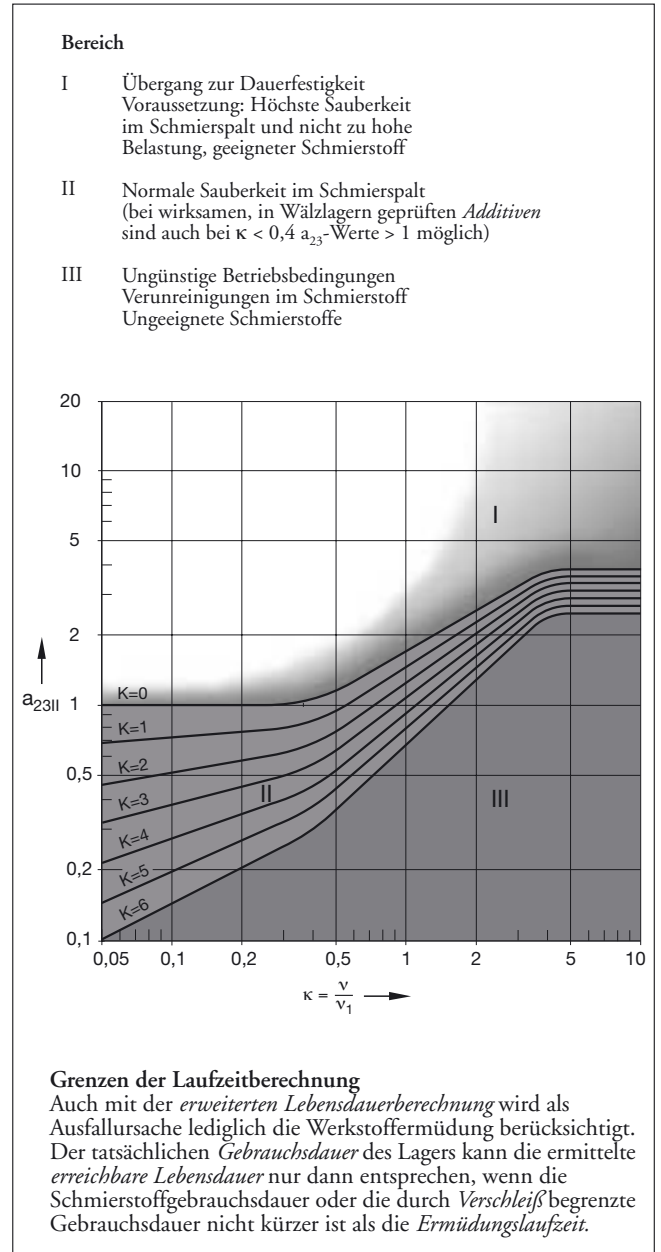


Der **Basiswert** a_{23II} kann in Abhängigkeit von κ mit Hilfe der **Bestimmungsgröße** K ($K = 0$ bis 6) auf einer der Kurven im Bereich II ermittelt werden.

Wenn der Wert $K > 6$ ist, kann nur ein a_{23} -Faktor im Bereich III erwartet werden. In diesem Fall sollte man überlegen, wie durch Verbesserung der Verhältnisse der Bereich II zu erreichen ist.

Der Faktor a_{23} ergibt sich als Produkt aus dem **Basiswert** a_{23II} und dem **Sauberkeitsfaktor** s (siehe Seite 16).

3: Basiswert a_{23II} zur Ermittlung des Faktors a_{23}



Dimensionierung

Dynamisch beanspruchte Lager · Erweiterte Lebensdauerberechnung

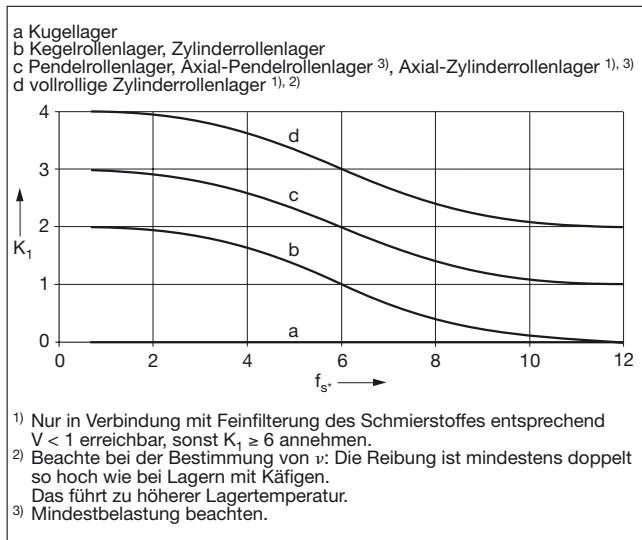
Bestimmungsgröße K

Die Bestimmungsgröße K ist eine Hilfsgröße, um bei der Berechnung der *erreichbaren Lebensdauer* den *Basiswert* a_{23II} ermitteln zu können.

$$\text{Es gilt } K = K_1 + K_2$$

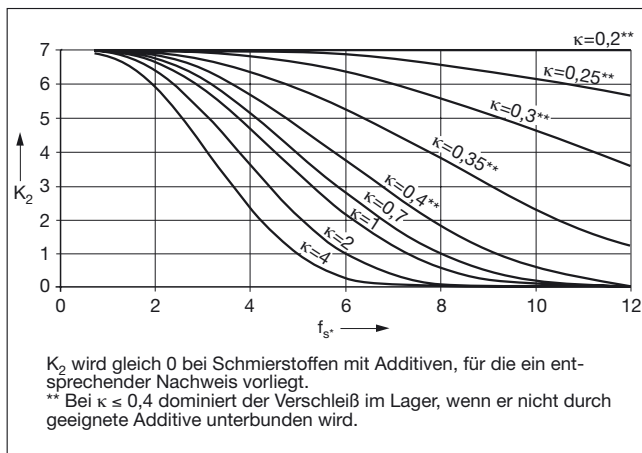
K_1 hängt ab von der Lagerbauart und der *Belastungskennzahl* f_{s^*} , siehe Diagramm.

Bestimmungsgröße K_1



K_2 hängt ab von der *Belastungskennzahl* f_{s^*} und vom *Viskositätsverhältnis* κ . Die Werte des Diagramms (unten) gelten für nicht additivierte Schmierstoffe oder für Schmierstoffe mit *Additiven*, deren besondere Wirksamkeit in Wälzlagern nicht geprüft wurde.

Bestimmungsgröße K_2



Belastungskennzahl f_{s^*}

Bei Berechnung der *erreichbaren Lebensdauer* wird die Belastungskennzahl f_{s^*} als Maß für die in den Rollkontakten auftretenden maximalen Druckspannungen berücksichtigt. Es gilt

$$f_{s^*} = C_0 / P_{0^*}$$

C_0 statische Tragzahl (siehe Seite 8)

P_{0^*} äquivalente Lagerbelastung

$$P_{0^*} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

F_r dynamische Radialbelastung

F_a dynamische Axialbelastung

X_0 Radialfaktor (siehe Katalog)

Y_0 Axialfaktor (siehe Katalog)

Verunreinigungskenngröße V

Die Verunreinigungskenngröße V stellt eine feste Beziehung her zwischen der in ISO 4406 genormten *Ölreinheitsklasse* und der Sauberkeit im Schmierpalt von Wälzlagern.

Bei der Ermittlung der *erreichbaren Lebensdauer* dient V in Verbindung mit der *Belastungskennzahl* f_{s^*} und dem *Viskositätsverhältnis* κ zur Bestimmung des *Sauberkeitsfaktors* s (siehe Seite 16).

V hängt ab vom Lagerquerschnitt, der Berührungsart im Rollkontakt und insbesondere der *Ölreinheitsklasse*. Werden im höchstbeanspruchten Kontaktbereich eines Wälzlagers harte Partikel ab einer bestimmten Größe überrollt, so führen Eindrücke in den Rollkontaktflächen zu vorzeitiger Werkstoffermüdung. Je kleiner die Kontaktfläche, desto schädlicher ist die Wirkung einer bestimmten Partikelgröße. Besonders empfindlich sind kleine Lager mit Punktberührung.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist folgende Abstufung der Sauberkeitsgrade sinnvoll (die wichtigsten sind fett gedruckt):

- $V = 0,3$ höchste Sauberkeit**
- $V = 0,5$ erhöhte Sauberkeit
- $V = 1$ normale Sauberkeit**
- $V = 2$ mäßig verunreinigter Schmierstoff
- $V = 3$ stark verunreinigter Schmierstoff**

Bedingungen für höchste Sauberkeit ($V = 0,3$):

- Lager vom Hersteller gefettet und mit Dicht- oder Deckscheiben gegen Staub abgedichtet
- Fettschmierung durch den Anwender, der die Lager unter Einhaltung höchster Sauberkeit in saubere Gehäuse einbaut, mit sauberem Fett schmirt und Vorkehrungen trifft, dass im Betrieb kein Schmutz eintreten kann

Dimensionierung

Dynamisch beanspruchte Lager · Erweiterte Lebensdauerberechnung

- Spülen des Ölumlaufsystems vor Inbetriebnahme der sauber montierten Lager und Erhaltung der Ölreinheit während der gesamten Betriebszeit

Bedingungen für normale Sauberkeit ($V = 1$):

- gute, auf die Umgebung abgestimmte *Abdichtung*
- Sauberkeit bei der Montage
- Ölreinheit entsprechend $V = 1$
- Einhalten der empfohlenen Ölwechselfristen

Mögliche Ursachen für stark verunreinigten Schmierstoff ($V = 3$):

- Gussgehäuse schlecht gereinigt
- Abrieb verschleißender Bauteile im Ölkreislauf der Maschine
- Eindringen von Fremdpartikeln in das Lager bei unzureichender *Abdichtung*

- Stillstandskorrosion oder verschlechterte Schmierung durch eingetretenes Wasser, auch Kondenswasser

Die erforderliche **Ölreinheitsklasse** nach ISO 4406 ist eine objektiv messbare Größe für den Grad der Verschmutzung eines Schmierstoffs. Zu ihrer Bestimmung benutzt man die genormte Partikel-Zählmethode. Dabei wird die Anzahl aller Partikel $> 5 \mu\text{m}$ und die aller Partikel $> 15 \mu\text{m}$ einer bestimmten ISO-Ölreinheitsklasse zugeordnet. So bedeutet eine Ölreinheit 15/12 nach ISO 4406, dass je 100 ml Flüssigkeit zwischen 16000 und 32000 Partikel $> 5 \mu\text{m}$ und zwischen 2000 und 4000 Partikel $> 15 \mu\text{m}$ vorhanden sind. Der Unterschied von einer Klasse zur anderen besteht in einer Verdoppelung bzw. Halbierung der Partikelzahl.

Orientierungswerte für die Verunreinigungs-kenngröße V

(D - d)/2 mm	V	Punktberührung	Richtwerte für	Linienberührung	Richtwerte für
		erforderliche Ölreinheits- klasse nach ISO 4406 ¹⁾	geeignete Filterrück- halterate nach ISO 4572	erforderliche Ölreinheits- klasse nach ISO 4406 ¹⁾	geeignete Filterrück- halterate nach ISO 4572
≤ 12,5	0,3	11/8	$\beta_3 \geq 200$	12/9	$\beta_3 \geq 200$
	0,5	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	1	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	2	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	3	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
> 12,5...20	0,3	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	0,5	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	1	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	2	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
	3	18/14	$\beta_{25} \geq 75$	19/15	$\beta_{25} \geq 75$
> 20...35	0,3	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0,5	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	1	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{12} \geq 75$
	2	17/14	$\beta_{25} \geq 75$	18/15	$\beta_{25} \geq 75$
	3	19/15	$\beta_{25} \geq 75$	20/16	$\beta_{25} \geq 75$
> 35	0,3	14/11	$\beta_6 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0,5	15/12	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_{12} \geq 75$
	1	17/14	$\beta_{12} \geq 75$	18/14	$\beta_{25} \geq 75$
	2	18/15	$\beta_{25} \geq 75$	19/16	$\beta_{25} \geq 75$
	3	20/16	$\beta_{25} \geq 75$	21/17	$\beta_{25} \geq 75$

Die Ölreinheitsklasse als Maß für die Wahrscheinlichkeit der Überrollung lebensdauerermindernder Partikel im Lager kann anhand von Proben z. B. durch Filterhersteller und Institute bestimmt werden. Auf geeignete Probenahme (siehe z. B. DIN 51570) ist zu achten. Auch Online-Messgeräte stehen heute zur Verfügung. Die Reinheitsklassen werden erreicht, wenn die gesamte umlaufende Ölmenge das Filter in wenigen Minuten einmal durchläuft. **Vor Inbetriebnahme** der Lagerung ist zur Sicherung guter Sauberkeit ein Spülvorgang erforderlich. Eine Filterrückhalterate $\beta_3 \geq 200$ (ISO 4572) bedeutet z. B., dass im sog. Multi-Pass-Test von 200 Partikeln $\geq 3 \mu\text{m}$ nur ein einziges das Filter passiert. Größere Filter als $\beta_{25} \geq 75$ sollen wegen nachteiliger Folgen auch für die übrigen im Ölkreislauf liegenden Aggregate nicht verwendet werden.

¹⁾ Es sind nur Partikel zu berücksichtigen, die eine Härte > 50 HRC aufweisen.

Dimensionierung

Dynamisch beanspruchte Lager · Erweiterte Lebensdauerberechnung

Insbesondere Partikel mit einer Härte > 50 HRC wirken sich lebensdauerermindernd im Wälzlager aus. Dies sind Teilchen aus gehärtetem Stahl, Sand und Schleifmittelrückstände. Vor allem letztere sind extrem schädlich. Liegt - wie in vielen technischen Anwendungsfällen - der überwiegende Anteil der in Ölproben vorhandenen Fremdstoffe im lebensdauerermindernden Härtebereich, kann die mit einem Partikelzähler ermittelte Reinheitsklasse direkt mit den Werten der Tafel (Seite 15) verglichen werden.

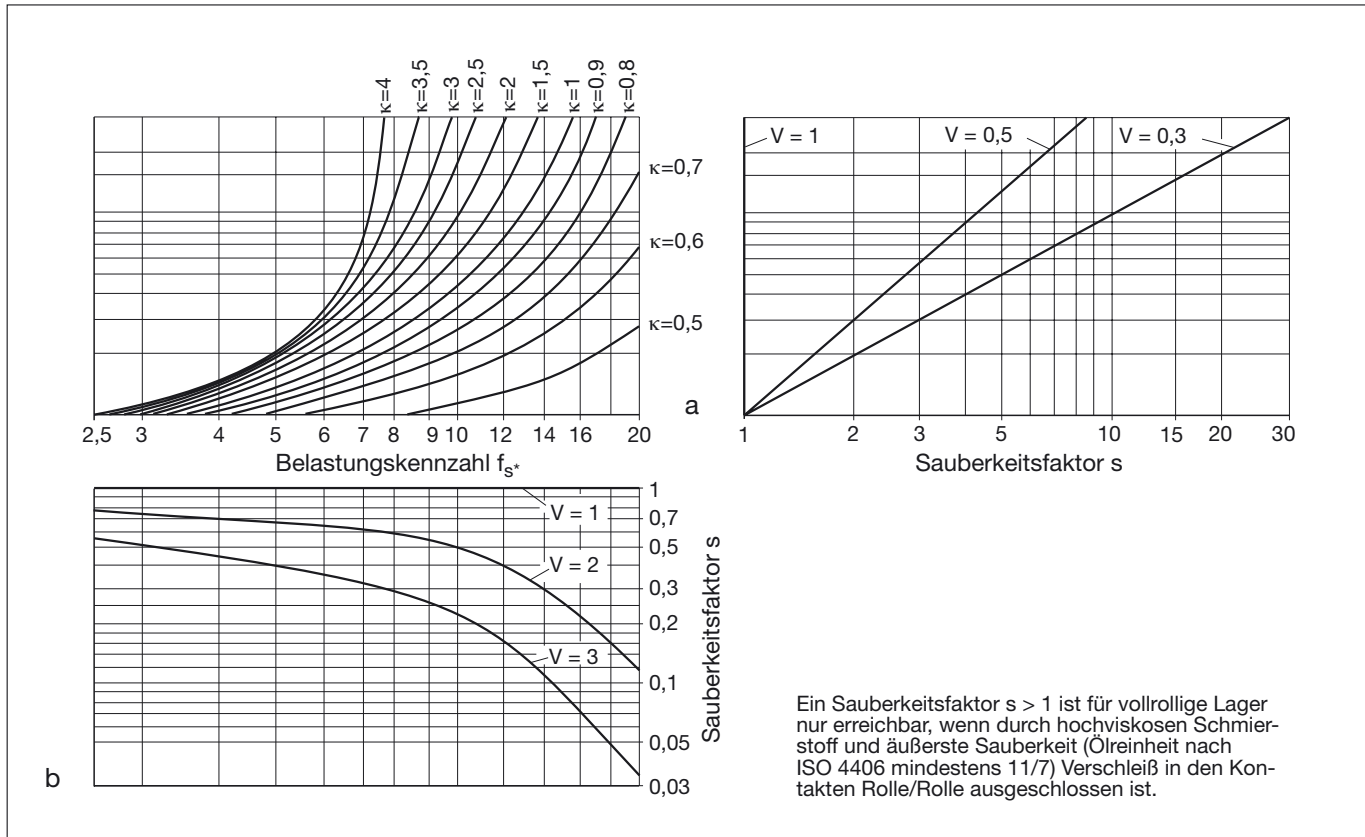
Stellt sich jedoch bei der Untersuchung des Filtrückstands heraus, dass es sich z. B. nahezu ausschließlich um mineralische Verschmutzung wie besonders lebensdauerermindernden Formsand oder Schleifkörner handelt, sind die Messwerte um eine bis zwei Reinheitsklassen zu erhöhen, bevor die Verunreinigungskenngröße V ermittelt wird. Umgekehrt sollte, wenn vorwiegend weiche Teilchen wie Holz, Fasern oder Farbe im Schmierstoff nachgewiesen werden, der Messwert des Partikelzählers entsprechend verringert werden.

Um die geforderte Ölreinheit zu erzielen, sollte eine bestimmte **Filtrückhalterate** β_x vorhanden sein. Diese ist ein Maß für die Abscheidefähigkeit des Filters bei definierten Partikelgrößen. Die Filtrückhalterate ist das Verhältnis aller Partikel $> x \mu\text{m}$ vor dem Filter zu den Partikeln $> x \mu\text{m}$ nach dem Filter.

Diagramm zum Bestimmen des Sauberkeitsfaktors s

a Bereich für erhöhte ($V = 0,5$) bis höchste ($V = 0,3$) Sauberkeit

b Bereich für mäßig verunreinigten Schmierstoff ($V = 2$) und stark verunreinigten Schmierstoff ($V = 3$)



Bei Verwendung eines Filters mit einer bestimmten Rückhalterate kann nicht automatisch auf eine *Ölreinheitsklasse* geschlossen werden.

Sauberkeitsfaktor s

Der Sauberkeitsfaktor s quantifiziert den Einfluss der Verschmutzung auf die *erreichbare Lebensdauer*. Das Produkt aus s und dem *Basiswert* a_{23II} ergibt den *Faktor* a_{23} .

Zur Ermittlung von s benötigt man die *Verunreinigungskenngröße* V . Für normale Sauberkeit ($V = 1$) gilt immer $s = 1$.

Bei erhöhter Sauberkeit ($V = 0,5$) und höchster Sauberkeit ($V = 0,3$) erhält man, ausgehend von der *Belastungskennzahl* f_{s+} und in Abhängigkeit vom *Viskositätsverhältnis* κ , über das rechte Feld (a) des Diagramms einen Sauberkeitsfaktor $s \geq 1$.

Bei $\kappa \leq 0,4$ gilt $s = 1$.

Bei $V = 2$ (mäßig verunreinigter Schmierstoff) bis $V = 3$ (stark verunreinigter Schmierstoff) ergibt sich $s < 1$ aus dem Bereich (b) des Diagramms.

Schmierung

Fettschmierung · Ölschmierung · Wichtige Begriffe aus der Wälzlagerschmierung

Schmierung

Durch einen Schmierfilm soll die metallische Berührung zwischen den *Lagerringen* und den *Rollkörpern* verhindert werden. So werden *Verschleiß* und eine vorzeitige *Ermüdung* der Wälzlager vermieden. Die Schmierung trägt auch zu günstigen Laufeigenschaften bei, indem sie Geräuschentwicklung und Reibung vermindert. Weitere Aufgaben können Korrosionsschutz und Wärmeabfuhr aus der Lagerung sein.

Als Schmierstoffe kommen normalerweise Fett oder Öl in Frage, in seltenen Fällen, z. B. bei sehr hohen Temperaturen, auch Festschmierstoff.

Die Schmierung von Wälzlagern wird ausführlich behandelt in der FAG-Publ.-Nr. WL 81 115.

Fettschmierung

Fettschmierung wird bei etwa 90 % aller Wälzlager angewandt. Die wesentlichen Vorteile einer Fettschmierung sind:

- sehr geringer konstruktiver Aufwand
- gute Unterstützung der *Dichtung*
- hohe *Gebrauchsdauer* bei geringem Wartungsaufwand

Bei normalen Betriebs- und Umgebungsbedingungen ist die Fettschmierung oft als for-life-Schmierung (Lebensdauer-schmierung) möglich.

Bei hohen Beanspruchungen (Belastung, Drehzahl, Temperatur) ist eine *Nachschröierung* in angemessenen *Intervallen* einzuplanen.

Ölschmierung

Die Schmierung mit Öl bietet sich an, wenn benachbarte Maschinenelemente bereits mit Öl versorgt werden oder wenn durch den Schmierstoff Wärme abgeführt werden soll.

Wärmeabfuhr wird beim Umlauf größerer Ölmengen ermöglicht. Sie kann erforderlich sein bei hohen Belastungen und/oder hohen Drehzahlen oder bei Einwirkung von Fremdwärme auf die Lagerung.

Bei Öl-Minimalmengenschmierung, z. B. Ölnebelschmierung oder Öl-Luft-Schmierung, wird die Lagerverlustleistung gering gehalten.

Wichtige Begriffe aus der Wälzlagerschmierung (alphabetisch geordnet)

Additive

Additive, auch als Zusätze oder Wirkstoffe bezeichnet, sind öllösliche Stoffe, die *Mineralölen* oder Mineralölprodukten zugegeben werden. Sie verändern oder verbessern durch chemische und/oder physikalische Wirkung die Eigenschaften der Schmierstoffe (Oxidationsstabilität, *EP*-Wirkung, Schaumbildung, *Viskositäts-Temperatur-Verhalten*, Stockpunkt, Fließfähigkeit und so weiter). Additive spielen auch eine wichtige Rolle bei der Berechnung der *erreichbaren Lebensdauer*.

Alterung

ist die unerwünschte chemische Veränderung von mineralischen und synthetischen Produkten (z.B. Schmierstoffen, Kraftstoffen) während des Gebrauchs und während der Aufbewahrung; ausgelöst durch Reaktionen mit Sauerstoff (Bildung von Peroxiden, Kohlenwasserstoff-Radikale); Wärme, Licht sowie katalytische Einflüsse von Metallen und anderen Verunreinigungen beschleunigen die Oxidation. Es kommt zur Bildung von Säuren und Schlamm; Alterungsschutzstoffe (Antioxidantien) verzögern die Alterung.

Arcanol (FAG Wälzlagerfette)

FAG Wälzlagerfette Arcanol sind bewährte *Schmierfette*, deren Anwendungsbereich bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen und mit Wälzlagern aller Bauarten ermittelt wurde. Eine Auswahl der wichtigsten FAG Wälzlagerfette Arcanol zeigt die Tafel auf Seite 18. Sie enthält auch Hinweise zu den Anwendungsbereichen.

Betriebsviskosität ν

Kinematische *Viskosität* eines Öles bei Betriebstemperatur. Vgl. auch *Viskositätsverhältnis* κ und *Erreichbare Lebensdauer*.

Bezugsviskosität ν_1

Die Bezugsviskosität ist die einem definierten Schmierzustand zugeordnete kinematische *Viskosität*. Vgl. auch *Viskositätsverhältnis* κ und *Erreichbare Lebensdauer*.

Drehzahlkennwert $n \cdot d_m$

Produkt aus Betriebsdrehzahl n [min^{-1}] und mittlerem Lagerdurchmesser d_m [mm]

$$d_m = (D + d)/2$$

D = Lageraußendurchmesser, d = Lagerbohrung

Der Drehzahlkennwert wird vor allem bei der Auswahl geeigneter Schmierverfahren und Schmierstoffe benutzt.

Schmierung

Wichtige Begriffe aus der Wälzlagerschmierung

FAG Wälzlagerfette Arcanol · Chemisch-physikalische Daten · Hinweise zur Anwendung

Arcanol	Verdicker Grundöl	Grundölviskosität bei 40 °C mm ² /s	Konsistenz NLGI-Klasse DIN 51818	Gebrauchstemperatur °C	Hauptcharakteristik Anwendungsbeispiele
MULTITOP	Lithiumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	85	2	-40...+140	Universalfett für Kugel- und Rollenlager, bei hoher Belastung angehobener Drehzahl, tiefen und hohen Temperaturen Walzwerke, Baumaschinen, Kraftfahrzeuge, Spinn- und Schleifspindeln
MULTI2	Lithiumseife Mineralöl	ISO VG 100	2	-30...+140	Universalfett, besonders für Kugellager mit D ≤ 62 mm kleine E-Motoren, Land- und Baumaschinen, Haushaltsgeräte
MULTI3	Lithiumseife Mineralöl	ISO VG 100	3	-30...+140	Universalfett, besonders für Kugellager mit D > 62 mm große E-Motoren, Land- und Baumaschinen, Lüfter
LOAD220	Lithium-/Kalziumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	ISO VG 220	2	-20...+140	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei hoher Belastung, großem Drehzahlbereich, hoher Feuchtigkeit Walzwerkslagerungen, Schienenfahrzeuge
LOAD400	Lithium-/Kalziumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	400	2	-25...+140	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei höchster Belastung, mittlerer Drehzahl, mittlerer Temperatur Bergwerksmaschinen, Baumaschinen
LOAD1000	Lithium-/Kalziumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	ISO VG 1000	2	-20...+140	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei höchster Belastung, geringer Drehzahl, mittlerer Temperatur Bergwerksmaschinen, Baumaschinen, vorzugsweise bei Stoßbelastung und großen Lagern
TEMP90	Kalzium-Polyharnstoff mit EP-Zusatz PAO	130	2	-40...+160	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei hoher Temperatur, hoher Belastung Kupplungen, E-Motoren, Kfz
TEMP110	Lithium-Komplexeife Esteröl	ISO VG 150	2	-40...+160	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei hoher Temperatur, hoher Drehzahl elektrische Maschinen, Kfz
TEMP120	Polyharnstoff mit EP-Zusatz PAO/Esteröl	ISO VG 460	2	-35...+180	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei hoher Temperatur, hoher Belastung Stranggießanlagen
TEMP200	PTFE Fluoriertes Polyetheröl	400	2	-40...+260	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager, bei höchster Temperatur, chemisch aggressiver Umgebung Lauffrollen in Backautomaten, Kolbenbolzen in Kompressoren, Ofenwagen, chemische Anlagen
SPEED2,6	Polyharnstoff PAO/Esteröl	ISO VG 22	2-3	-50...+120	Spezialfett für Kugellager, bei höchster Drehzahl, tiefer Temperatur Werkzeugmaschinen, Instrumente
VIB3	Lithium-Komplexeife mit EP-Zusatz Mineralöl	170	3	-30...+150	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei hoher Temperatur, hoher Belastung, oszillierender Bewegung Blattverstellung in Rotoren von Windkraftanlagen, Verpackungsmaschinen
BIO2	Lithium-/Kalziumseife Esteröl	55	2	-30...+140	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager in umweltgefährdenden Anwendungen
FOOD2	Aluminiumkomplexeife Weißöl	192	2	-30...+120	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager in Anwendungen mit Lebensmittelkontakt, H1 nach USDA

Schmierung

Wichtige Begriffe aus der Wälzlagerschmierung

EP-Zusätze

Additive gegen *Verschleiß* in *Schmierölen* oder *Schmierfetten*, die man auch als Extreme-Pressure-Schmierstoffe bezeichnet.

Festschmierstoffe

In *Schmierölen* und *Schmierfetten* suspendierte oder direkt angewendete Stoffe, beispielsweise Graphit und Molybdändisulfid.

Fettgebrauchsdauer

Die Fettgebrauchsdauer F_{10} ist die Zeit vom Anlauf bis zum Ausfall eines Lagers als Folge eines Versagens der Schmierung. Die Fettgebrauchsdauer hängt ab von der

- Fettmenge
- Fettart (*Verdicker*, *Grundöl*, *Additive*)
- Lagerbauart und -größe
- Höhe und Art der Belastung
- *Drehzahlkennwert*
- Lagertemperatur.

Grundöl

Das in einem *Schmierfett* enthaltene Öl wird als Grundöl oder Basisöl bezeichnet. Der Anteil wird, je nach *Verdicker* und Verwendungszweck des Fettes, verschieden hoch gewählt. Mit dem Anteil des Grundöls und seiner *Viskosität* ändern sich die Penetration (siehe *Konsistenz*) und das Reibungsverhalten des Fettes.

Konsistenz

Maß für die Verformbarkeit von *Schmierfetten*.

Im Handel gibt man die sogenannte Walkpenetration bei 25 °C an. Man unterscheidet mehrere Penetrationsklassen (NLGI-Klassen).

Lithiumseifenfette

Lithiumseifenfette zeichnen sich durch eine verhältnismäßig gute Wasserbeständigkeit und einen weiten Bereich der Gebrauchstemperatur aus. Sie enthalten oft Oxidationsverzögerer, Korrosionsverzögerer und Hochdruck-Zusätze (*EP*). Wegen ihrer guten Eigenschaften werden Lithiumseifenfette in großem Umfang zur Schmierung von Wälzlagern eingesetzt. Die Einsatzgrenzen normaler Li-Fette liegen bei -35 °C und +130 °C.

Mineralöle

Erdöle bzw. deren flüssige Derivate. Mineralöle für die Wälzlagerschmierung müssen mindestens die Anforderungen nach DIN 51501 erfüllen.

Vgl. auch *Synthetische Schmierstoffe*.

Nachschmierintervall

Zeitraum, nach dem die Lager nachgeschmiert werden. Das Nachschmierintervall sollte kürzer als die *Schmierfrist* festgelegt werden.

Schmierfette

Schmierfette sind konsistente Gemische aus *Verdickern* und *Grundölen*. Man unterscheidet zwischen

- Metallseifenschmierfetten, die sich aus Metallseifen als *Verdicker* und *Schmierölen* zusammensetzen,
- seifenfreien Schmierfetten mit anorganischen Gelbildnern oder organischen *Verdickern* und *Schmierölen*
- synthetischen Schmierfetten, die sich aus organischen oder anorganischen *Verdickern* und *Syntheseölen* zusammensetzen.

Schmierfrist

Die Schmierfrist entspricht der mindestens erreichten *Fettgebrauchsdauer* F_{10} von Standardfetten nach DIN 51825, siehe Schmierfristkurve in der FAG-Publikation Nr. WL 81 115. Dieser Wert wird zur Abschätzung genommen, wenn die *Fettgebrauchsdauer* F_{10} für das verwendete Fett nicht bekannt ist.

Einflüsse, die eine Minderung der Schmierfrist bewirken, werden durch Minderungsfaktoren berücksichtigt.

Schmieröle

Zur Schmierung von Wälzlagern sind grundsätzlich *Mineralöle* und *Syntheseöle* geeignet. Schmieröle auf Mineralölbasis werden heute am häufigsten verwendet.

Schmierungszustände

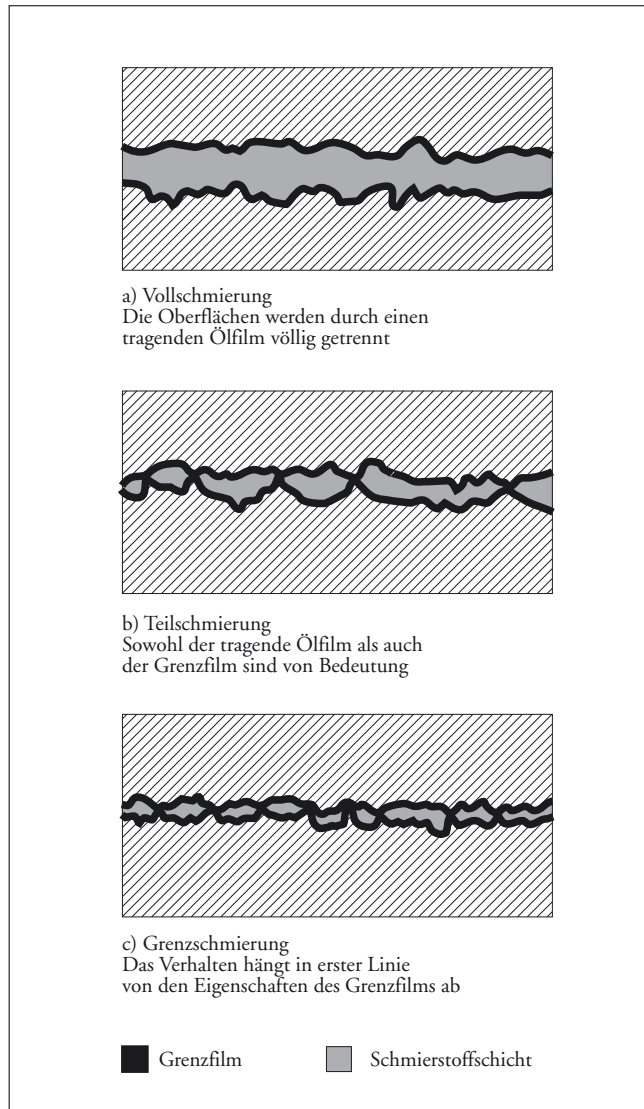
In Wälzlagern treten hauptsächlich folgende Schmierungszustände (siehe Schema Seite 20) auf:

- **Vollschmierung:** Die Oberflächen der relativ zueinander bewegten Flächen sind durch einen Schmierfilm getrennt. Dieser Zustand, auch als Flüssigkeitsschmierung bezeichnet, soll für den Dauerbetrieb stets angestrebt werden.
- **Teilschmierung:** Aufgrund zu geringer Schmierfilmdicke kommt es in Teilbereichen zu Festkörperkontakten. Es tritt Mischreibung auf.
- **Grenzschmierung:** Enthält der Schmierstoff geeignete *Additive*, kommt es bei hohen Drücken und Temperaturen in den Festkörperkontakten zu Reaktionen zwischen den Additiven und den metallischen Oberflächen. Hierbei bilden sich schmierfähige Reaktionsprodukte, die eine dünne Grenzschicht entstehen lassen.

Schmierung

Wichtige Begriffe aus der Wälzlagerschmierung

Unterschiedliche Schmierungszustände



Synthetische Schmierstoffe/Syntheseöle

Durch Synthese hergestellte *Schmieröle*, die teilweise, abgestimmt auf ihre Anwendung, folgende Eigenschaften aufweisen: sehr niedriger Stockpunkt, gutes *V-T-Verhalten*, geringer Verdampfungsverlust, lange Lebensdauer, hohe Oxidationsstabilität.

Verdicker

Verdicker und *Grundöl* sind die Bestandteile von *Schmierfetten*. Die häufigsten Verdicker sind Metallseifen sowie Verbindungen, z. B. vom Typ Polyharnstoff.

Viskosität

Im physikalischen Sinne ist Viskosität der Widerstand, den benachbarte Schichten einer Flüssigkeit ihrer gegenseitigen Verschiebung entgegensetzen. Man unterscheidet zwischen der **dynamischen Viskosität** η und der **kinematischen Viskosität** ν . Die dynamische Viskosität ist das Produkt aus kinematischer Viskosität und Dichte (Dichte von *Mineralölen*: $0,9 \text{ g/cm}^3$ bei $15 \text{ }^\circ\text{C}$).

SI-Einheiten (internationales Einheitensystem)

- für die dynamische Viskosität: Pa s oder mPa s,
- für die kinematische Viskosität: m^2/s und mm^2/s .

Aus der Viskosität von *Schmierölen* ergibt sich die Tragfähigkeit des Ölfilmes im Lager bei flüssiger Reibung. Sie nimmt mit steigender Temperatur ab und mit fallender Temperatur zu (siehe *V-T-Verhalten*).

Daher muss bei jedem Viskositätswert die Temperatur, auf die er sich bezieht, angegeben werden. Die **Nennviskosität** ist die kinematische Viskosität bei $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Viskositätsklassifikation

In den Normen ISO 3448 und DIN 51519 sind für flüssige Industrie-Schmierstoffe 18 Viskositätsklassen (ISO VG) im Bereich von 2 bis $1500 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei $40 \text{ }^\circ\text{C}$ festgelegt.

Viskositäts-Temperatur-Verhalten (V-T-Verhalten)

Mit dem Ausdruck V-T-Verhalten bezeichnet man bei *Schmierölen* die Änderung der *Viskosität* mit der Temperatur. Man spricht von günstigem V-T-Verhalten, wenn das Öl seine *Viskosität* mit der Temperatur nicht stark ändert (vgl. auch Diagramm 1 auf Seite 13).

Viskositätsverhältnis κ

Das Viskositätsverhältnis als Quotient aus *Betriebsviskosität* ν und *Bezugsviskosität* ν_1 ist ein Maß für die Schmierfilmbildung im Lager, vgl. *Faktor* a_{23} .

Dichtungen

Dichtungen

Die Dichtung soll einerseits das *Schmierfett* oder *Schmieröl* im Lager halten und andererseits verhindern, dass Verunreinigungen ins Lager gelangen. Die Dichtwirkung hat einen erheblichen Einfluss auf die *Gebrauchsdauer* der Lagerung.

Berührungsfreie Dichtungen

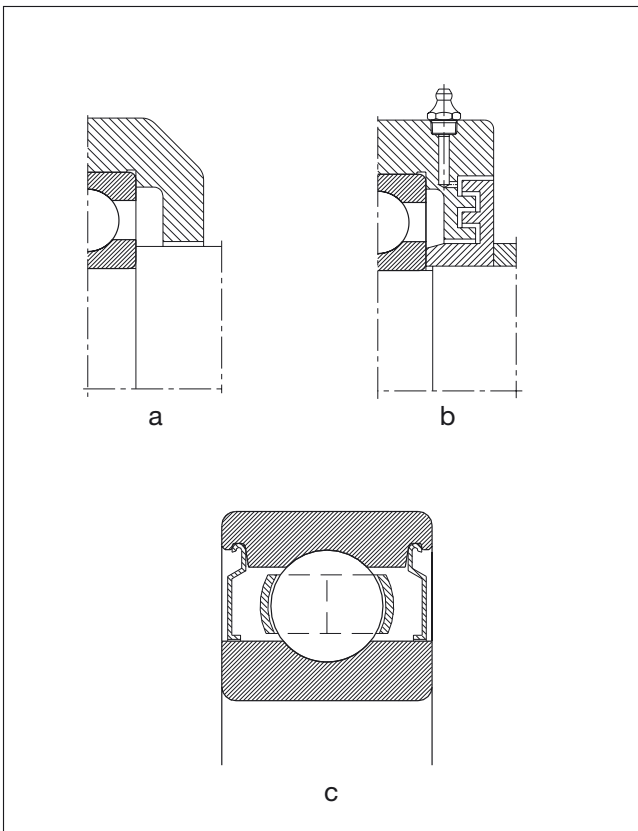
Bei berührungsfreien Dichtungen entsteht außer der Schmierstoffreibung im Schmierpalt keine Reibung. Diese Dichtungen haben eine lange Lebensdauer und eignen sich auch bei sehr hohen Drehzahlen.

Außerhalb des Lagers ordnet man z. B. Spaltdichtungen und Labyrinthdichtungen an.

Platzsparende Dichtelemente sind in das Lager eingebaute Deckscheiben. Lager mit zwei Deckscheiben werden mit Fettfüllung geliefert.

Beispiele für nichtberührende Dichtungen

a = Spaltdichtung, b = Labyrinthdichtung, c = Lager mit Deckscheiben



Berührende Dichtungen

Berührende Dichtungen liegen unter einer Anpresskraft an der metallischen Lauffläche an. Je nach der Anpresskraft, dem Schmierzustand und der Rauheit der Lauffläche sowie der Gleitgeschwindigkeit ist die Reibung unterschiedlich hoch.

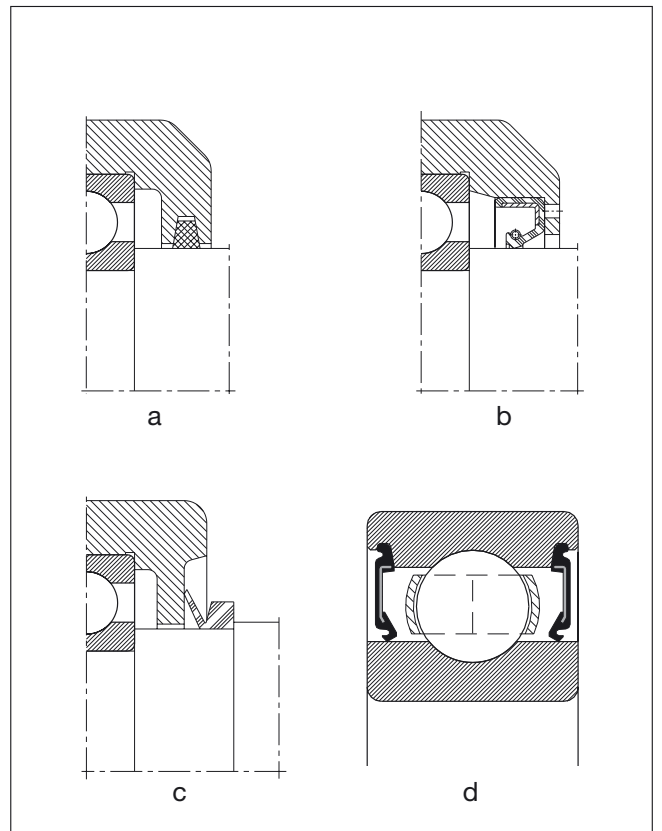
Filzringe bewähren sich vor allem bei Fettschmierung. Zur Abdichtung bei Ölschmierung werden vor allem Radial-Wellendichtringe eingesetzt.

V-Ringe sind axial wirkende Lippendichtungen, die man häufig als Vordichtung verwendet, um Schmutz von einem Radial-Wellendichtring fernzuhalten.

Lager mit eingebauten Dichtscheiben ermöglichen einfache Konstruktionen. FAG liefert wartungsfreie Lager mit zwei Dichtscheiben und einer Fettfüllung.

Beispiele für berührende Dichtungen

a = Filzdichtung, b = Radial-Wellendichtring, c = V-Ring, d = Lager mit Dichtscheiben



Drehzahleignung

Drehzahleignung

Die höchste erreichbare Drehzahl der Wälzlager wird im Allgemeinen von der zulässigen Betriebstemperatur bestimmt. Dieses Grenzkriterium berücksichtigt die (thermische) *Bezugsdrehzahl*.

Die *Grenzdrehzahl* kann von der *Bezugsdrehzahl* nach oben oder unten abweichen. Sie wird in den FAG-Katalogen auch für solche Lager angegeben, für die laut DIN 732-1 (Entwurf 1994-12) keine *Bezugsdrehzahl* definiert ist. Die *Grenzdrehzahl* darf nur nach Rücksprache mit FAG überschritten werden.

Im Katalog WL 41 520 »FAG Wälzlager« ist ein von DIN 732-2 (Entwurf 1994-12) abgeleitetes Verfahren angegeben, mit dem die *thermisch zulässige Betriebsdrehzahl* aus der *Bezugsdrehzahl* ermittelt wird, wenn die Betriebsbedingungen Belastung, *Ölviskosität* oder zulässige Temperatur von den Bezugsbedingungen abweichen.

Grenzdrehzahl

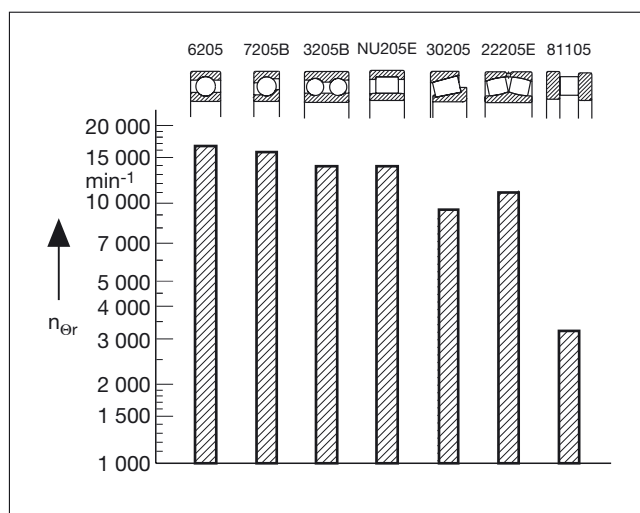
Maßgebend für diesen Kennwert sind z. B. die Festigkeitsgrenze der Lagerteile oder die zulässige Gleitgeschwindigkeit berührender *Dichtungen*. Grenzdrehzahlen, die höher sind als die Bezugsdrehzahlen, sind zu erreichen z. B. durch

- besondere Auslegung der Schmierung
- auf die Betriebsverhältnisse ausgelegte *Lagerluft*
- genaue Bearbeitung der Lagersitze
- besondere Berücksichtigung der Wärmeabfuhr

Bezugsdrehzahl

Die Bezugsdrehzahl ist ein neuer Kennwert für die *Drehzahleignung* der Wälzlager. Sie wird in dem Entwurf DIN 732-1 (Entwurf 1994-12) definiert als die Drehzahl, bei der sich die Bezugstemperatur 70 °C einstellt. Im FAG-Katalog WL 41 520 sind die genormten Bezugsbedingungen aufgeführt, die sich an den normalerweise vorkommenden Betriebsbedingungen der gängigen Wälzlager (Ausnahmen z. B.: Spindellager, Vierpunktlager, Tonnenlager, Axial-Rillenkugellager) orientieren. Die im Katalog angegebenen Werte der Bezugsdrehzahl gelten im Gegensatz zu früher (Drehzahlgrenzen) gleichermaßen für *Ölschmierung* wie für *Fettschmierung*.

Die Bezugsdrehzahlen n_{0r} von Lagern verschiedener Bauart mit $d = 25$ mm Bohrung



Thermisch zulässige Betriebsdrehzahl

Wenn die Belastung, die *Ölviskosität* oder die zulässige Temperatur von den für die *Bezugsdrehzahl* gültigen Bezugsbedingungen abweichen, kann man mit Hilfe von Diagrammen die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl ermitteln. Das Verfahren wird im FAG-Katalog WL 41 520 beschrieben.

Eignung für hohe Temperaturen

Eignung für hohe Temperaturen

(über +150 °C)

Der für *Lagerringe* und *Rollkörper* verwendete Wälzlagerstahl mit normaler Wärmebehandlung erlaubt in der Regel eine Einsatztemperatur bis +150 °C. Bei höheren Temperaturen treten Maßänderungen und Härteabfall ein. Um Maßstabilität zu erreichen, ist eine besondere Wärmebehandlung notwendig. Derartig behandelte Lager haben zur Kennzeichnung die Nachsetzzeichen S1...S4 (DIN 623).

Nachsetzzeichen	ohne	S1	S2	S3	S4
max. Betriebstemperatur	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C

Lager mit einem Außendurchmesser über 240 mm sind generell bis 200 °C maßstabil. Lager, die in der Normalausführung nach S1 wärmebehandelt sind, haben kein Nachsetzzeichen für die Wärmebehandlung. Angaben über die Wärmebehandlung sind im Katalog enthalten.

In allen Einsatzfällen über +100 °C sind die Temperaturgrenzen der übrigen Lagerbestandteile zu beachten, z. B.:

- *Käfige* aus glasfaserverstärktem Polyamid PA66 +120 °C (+100 °C)
 - *Käfige* aus Hartgewebe +100 °C
 - Übliche Dichtscheiben aus synthetischem Kautschuk NBR +110 °C
 - Übliche *Lithiumseifenfette* ca. +130 °C
- Bei diesen Fetten ist zu beachten, dass ab +70 °C Dauertemperatur eine Temperatursteigerung eine Minderung der *Fettgebrauchsdauer* bewirkt. Dies ist auch bei den beidseitig abgedichteten Lagern zu berücksichtigen, die schon vom Hersteller aus derartige Fette enthalten.

Bei höheren Temperaturen kommen Metall*käfige*, wärmebeständige *Dichtungen* und Sonderfette zum Einsatz.

Die Einsatzgrenze für Wälzlager aus üblichen Stählen liegt bei ca. +300 °C. Bei noch höheren Temperaturen ist ihr Härteabfall so stark, dass wärmefeste Werkstoffe erforderlich werden.

Bei hohen Temperaturen, aber auch bei korrodierenden Medien und bei Mangelschmierung, bewähren sich z. B. hochaufgestickte martensitische Stähle (HNS-Stähle), mit denen bereits zahlreiche *X-life-Lösungen* verwirklicht wurden.

Beispiele für Betriebstemperaturen:

Tischbohrmaschine	+40 °C	Vibrationsmotor	+70 °C
Drehbankspindel	+50 °C	Schwingsieb	+80 °C
Backenbrecher	+60 °C	Vibrationswalze	+90 °C

Beispiel für Lager, die bei höheren Temperaturen eingesetzt werden:

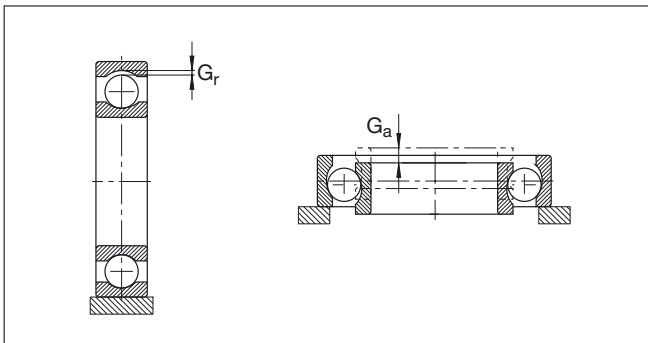
Kalksandstein-Härtewagenlager, Publ.-Nr. WL 07 137

Bei der Verwendung von Hochtemperatur-Synthesewerkstoffen ist zu beachten, dass die besonders leistungsfähigen fluorierten Werkstoffe bei einer Erwärmung auf ca. 300 °C und mehr gesundheitsschädliche Gase und Dämpfe abgeben können. Dieser Fall kann dann eintreten, wenn z. B. beim Ausbau eines Lagers ein Schweißbrenner verwendet wird. FAG verwendet fluorierte Werkstoffe für *Dichtungen* aus Fluorkautschuk (FKM, FPM, z. B. Viton[®]) oder für fluorierte *Schmierfette* wie z. B. das FAG Wälzlagerfett *Arcanol* TEMP200. Lässt sich die hohe Temperatur nicht vermeiden, dann ist das für den jeweiligen fluorierten Werkstoff gültige Sicherheitsdatenblatt zu beachten, das auf Anforderung erhältlich ist.

Lagerluft

Lagerluft

Die Lagerluft ist das Maß, um das sich ein *Lagering* gegenüber dem anderen ohne Belastung verschieben lässt. Bei axialer Lagerluft findet die Verschiebung längs der Lagerachse statt, bei radialer Lagerluft senkrecht zur Lagerachse.



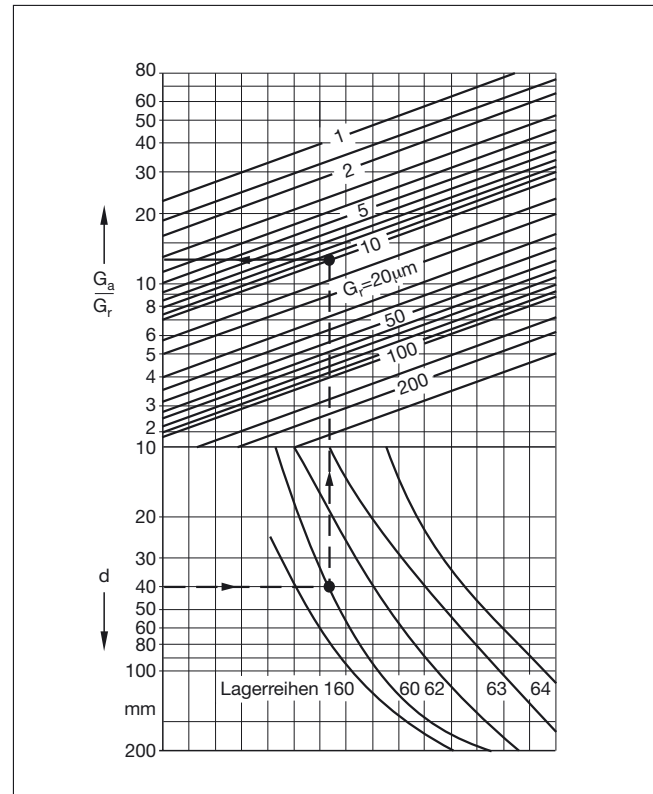
G_r radiale Lagerluft
 G_a axiale Lagerluft

Je nach Lagerbauart ist die radiale oder axiale Lagerluft maßgebend. Sie ist nach DIN 620 für die meisten Lagerbauarten und -größen genormt und in C-Luftgruppen festgelegt.

Luftgruppe Zusatzzeichen	Lagerluft
C1	kleiner als C2
C2	kleiner als normal
–	normal
C3	größer als normal
C4	größer als C3

Das Zusatzzeichen für die Luftgruppe wird an das Lagerkurzzeichen angehängt; für die Luftgruppe "normal" (CN) wird dagegen kein Zusatzzeichen verwendet.

Zusammenhang zwischen Radial- und Axialluft bei Rillenkugellagern



d = Lagerbohrung [mm]
 G_r = Radialluft [μm]
 G_a = Axialluft [μm]

Beispiel:

Rillenkugellager 6008.C3 mit $d = 40$ mm
 Radialluft vor dem Einbau: 15...33 μm
 Tatsächliche Radialluft: $G_r = 24$ μm

Einbautoleranzen: Welle k5
 Gehäuse J6

Radialluftverminderung beim Einbau: 14 μm
 Radialluft nach dem Einbau: 24 $\mu\text{m} - 14$ $\mu\text{m} = 10$ μm

Aus dem Diagramm ergibt sich $\frac{G_a}{G_r} = 13$

Axialluft: $G_a = 13 \cdot 10$ $\mu\text{m} = 130$ μm

Lagerluft

Zusammenhang zwischen Radial- und Axialluft bei anderen Lagerbauarten

Lagerbauart	G_a/G_r
Pendelkugellager	$2,3 \cdot Y_0$ *)
Pendelrollenlager	$2,3 \cdot Y_0$ *)
Kegelrollenlager, einreihig paarweise angeordnet	$4,6 \cdot Y_0$ *)
Kegelrollenlagerpaar zusammengepasst (N11CA)	$2,3 \cdot Y_0$ *)
Schrägkugellager, zweireihig Reihe 32 und 33 Reihe 32B und 33B	1,4 2
Schrägkugellager, einreihig Reihe 72B und 73B und paarweise angeordnet	1,2
Vierpunktlager	1,4

*) Y_0 -Wert aus Katalog

Zur genauen Führung der Welle soll die Lagerluft des eingebauten, betriebswarmen Lagers (**Betriebsluft**, **Betriebsspiel**) möglichst gering sein, andererseits soll sich das Lager zwanglos drehen können. Zu beachten ist, dass sich die vor dem Einbau vorhandene Lagerluft meist verringert:

- Durch stramme *Passung* an der Lagersitzstelle wird der Innenring aufgeweitet bzw. der Außenring zusammengedrückt.
- Durch die Betriebswärme erfolgt oft eine zusätzliche Aufweitung des Innenrings.

Beides muss durch die Wahl der richtigen Lagerluft berücksichtigt werden. Die Einteilung in C-Gruppen ermöglicht es, für die sehr unterschiedlichen Passungs- und Betriebsverhältnisse die jeweils nötige Lagerluft festzulegen.

Die normale Lagerluft (CN) ist so bemessen, dass im mittleren Durchmesserbereich bei normalen Passungen und normalen Betriebsverhältnissen (Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenring max. 10 K) die richtige Lagerluft verbleibt. Als normale Passungen gelten:

	Welle	Gehäuse
Kugellager	j5 bis k5	H7 bis J7
Rollenlager	k5 bis m5	H7 bis M7

Entscheidend für die Passungswahl sind jedoch letztlich die jeweiligen Betriebsbedingungen (siehe Abschnitt Passungen).

Größere Lagerluft als normal wählt man bei festeren Passungen und/oder bei großem Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenring.

Lagerluft C2 oder C1 wird verwendet, wenn eine sehr starre Wellenführung nötig ist, z. B. bei Werkzeugmaschinen, wobei die Lager oft mit Vorspannung laufen.

Nicht in der C-Gruppierung enthaltene Lagerluft legt man durch sogenannte offene Schreibweise fest, z. B.:

6210.R10.30 = Radialluft 10 bis 30 μm
 QJ210MPA.A100.150 = Axialluft 100 bis 150 μm

Zu beachten ist, dass bei den Lagerluft-Tabellen zwischen Lagern mit zylindrischer und kegeliger Bohrung unterschieden wird.

Toleranzen

Toleranzen

Die Toleranzen der Wälzlager sind nach DIN 620 Teil 2 (*Radiallager*) und DIN 620 Teil 3 (*Axiallager*) genormt. Festgelegt sind die zulässigen Maß- und Laufabweichungen der Lager bzw. *Lagerringe*.

Ausgehend von PN (Normaltoleranz) gibt es für **Genauigkeitslager** die **Toleranzklassen** P6, P6X, P5, P4 und P2 mit steigender Genauigkeit. Außerdem gibt es die (nicht genormten) FAG-Toleranzklassen SP (Super-Präzision) und UP (Ultra-Präzision) für zweireihige Zylinderrollenlager und P4S für Spindellager. Diese Lager werden vor allem in Werkzeugmaschinen eingesetzt.

Das Zusatzzeichen für die Toleranzklasse wird an das Lagerkurzzeichen angehängt, ausgenommen PN für die Normaltoleranz, das weggelassen wird.

Zu beachten ist, dass Lager in Zollabmessungen andere Toleranzsysteme haben (ABMA-Toleranzen).

Bohrungsdurchmesser

$\Delta_{dmp} = d_{mp} - d$
Abweichung des mittleren Bohrungsdurchmessers vom Nennmaß

$\Delta_{d1mp} = d_{1mp} - d_1$
Abweichung des mittleren großen Durchmessers bei kegeliger Bohrung vom Nennmaß

V_{dp}
Schwankung des Bohrungsdurchmessers; Differenz zwischen größtem und kleinstem in einer Radialebene gemessenen Bohrungsdurchmesser

$V_{dmp} = d_{mpmax} - d_{mpmin}$
Schwankung des mittleren Bohrungsdurchmessers; Differenz zwischen größtem und kleinstem mittleren Bohrungsdurchmesser

Außendurchmesser

$\Delta_{Dmp} = D_{mp} - D$
Abweichung des mittleren Außendurchmessers vom Nennmaß

V_{Dp}
Schwankung des Außendurchmessers; Differenz zwischen größtem und kleinstem in einer Radialebene gemessenen Außendurchmesser

$V_{Dmp} = D_{mpmax} - D_{mpmin}$
Schwankung des mittleren Außendurchmessers; Differenz zwischen größtem und kleinstem mittleren Außendurchmesser

Breite und Höhe

$\Delta_{Bs} = B_s - B, \Delta_{Cs} = C_s - C$
Abweichung der an einer Stelle gemessenen Innen- oder Außenringbreite vom Nennmaß

$V_{Bs} = B_{smax} - B_{smin}, V_{Cs} = C_{smax} - C_{smin}$
Schwankung der Innen- oder Außenringbreite; Differenz zwischen größter und kleinster gemessener Ringbreite

$\Delta_{Ts} = T_s - T, \Delta_{T1s} = T_{1s} - T_1, \Delta_{T2s} = T_{2s} - T_2$
Abweichung der an einer Stelle gemessenen Kegelrollenlager-Gesamtbreite vom Nennmaß

*) $\Delta_{Hs} = H_s - H, \Delta_{H1s} = H_{1s} - H_1, \Delta_{H2s} = H_{2s} - H_2, \dots$
Abweichung der an einer Stelle gemessenen Axiallager-Gesamthöhe vom Nennmaß

Laufgenauigkeit

K_{ia} Rundlauf des Innenrings am zusammengebauten Radiallager (Radialschlag)

K_{ea} Rundlauf des Außenrings am zusammengebauten Radiallager (Radialschlag)

S_i Wänddickenschwankung der Wellenscheibe bei Axiallagern (Axialschlag von Axiallagern)

S_e Wänddickenschwankung der Gehäusescheibe bei Axiallagern (Axialschlag von Axiallagern)

*) In der Norm wird die Gesamthöhe des Axiallagers mit T bezeichnet.

Winkeleinstellbarkeit

Winkeleinstellbarkeit

Bei der Bearbeitung der Lagersitzstellen einer Welle oder eines Gehäuses können Fluchtfehler auftreten, besonders wenn die Sitzstellen nicht in einer Aufspannung bearbeitet werden. Mit Fluchtfehlern ist auch dann zu rechnen, wenn einzelne Gehäuse, wie Flansch- oder Stehlagergehäuse, zum Einsatz kommen. Ähnlich wirken Verkippungen der Lagerringe zueinander, die auf Wellendurchbiegungen infolge der Betriebsbelastung zurückgehen.

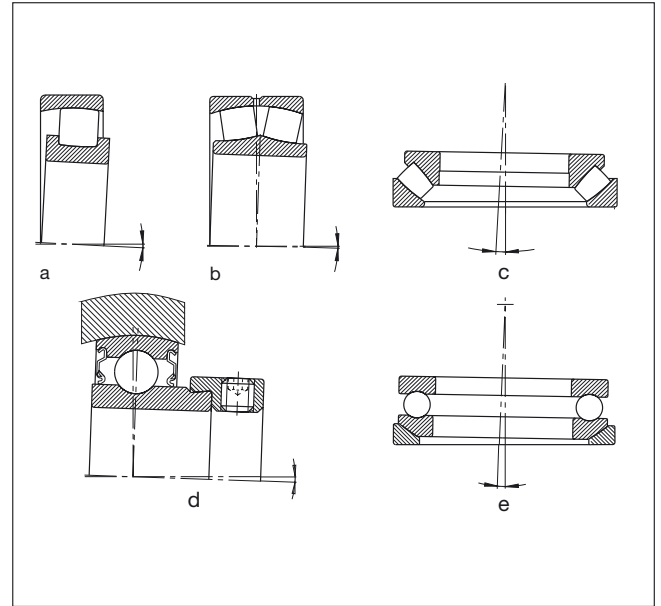
Pendellager, wie Pendelkugellager, Tonnenlager, Radial- und Axial-Pendelrollenlager, gleichen Fluchtfehler und Verkippungen während des Laufs aus. Diese winkeleinstellbaren Lager haben eine hohlkugelige Außenringlaufbahn, in der der Innenring zusammen mit dem Rollkörpersatz ausschwenken kann. Der Einstellwinkel dieser Lager hängt ab von ihrer Bauart und Größe sowie von der Belastung.

Spannlager und Axial-Rillenkugellager mit Unterlagscheibe haben eine kugelige Stützfläche; sie können sich bei der Montage in der hohlkugeligen Gegenfläche einstellen.

Bei den nicht aufgeführten Lagerarten sind keine oder nur sehr geringe Verkippungen möglich.

Winkeleinstellbare Wälzlager:

Tonnenlager (a), Pendelrollenlager (b), Axial-Pendelrollenlager (c); Spannlager (d) und Axial-Rillenkugellager mit Unterlagscheibe (e) haben eine kugelige Stützfläche.



Passungen

Passungen

Die Passungen bei Wälzlagern bestimmen, wie fest oder wie lose ein Lager auf der Welle und im Gehäuse sitzt.

Grundsätzlich sollten aus folgenden Gründen beide *Lagerringe* fest gepasst sein:

- einfachste und sicherste Befestigung der Lagerringe in Umfangsrichtung
- volle Unterstützung der Ringe auf ihrem ganzen Umfang; dadurch ist bestmögliche Nutzung der Tragfähigkeit des Lagers möglich.

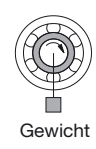



Dagegen steht in der Praxis oft die Notwendigkeit einer losen Passung:

- Erleichterung beim Einbau von nicht *zerlegbaren* Lagern
- Verschiebbarkeit von nicht *zerlegbaren* Lagern in Längsrichtung als *Loslager*.

Als Kompromiss aus diesen Forderungen gilt die Regel:

- Für den Ring mit **Umfangslast** ist feste Passung notwendig.
- Für den Ring mit **Punktlast** ist lose Passung zulässig.

Die verschiedenen Belastungs- und Bewegungsverhältnisse sind in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen.

Bewegungsverhältnisse	Beispiel	Schema	Belastungsfall	Passung
Innenring rotiert Außenring steht still Lastrichtung unveränderlich	Welle mit Gewichtsbelastung		Umfangslast für den Innenring und	Innenring: feste Passung notwendig
Innenring steht still Außenring rotiert Lastrichtung rotiert mit dem Außenring	Nabenlagerung mit großer Unwucht		Punktlast für den Außenring	Außenring: lose Passung zulässig
Bewegungsverhältnisse	Beispiel	Schema	Belastungsfall	Passung
Innenring steht still Außenring rotiert Lastrichtung unveränderlich	Kfz-Vorderrad (Nabenlagerung) Laufrolle		Punktlast für den Innenring und	Innenring: lose Passung zulässig
Innenring rotiert Außenring steht still Lastrichtung rotiert mit dem Innenring	Zentrifuge Schwingesieb		Umfangslast für den Außenring	Außenring: feste Passung notwendig

Bei der Wahl der Passung ist weiterhin zu berücksichtigen:

- Die Passung sollte um so fester sein, je höher die Belastung ist, vor allem wenn mit stoßartiger Belastung zu rechnen ist.
- Mögliche unterschiedliche Wärmedehnung von Lagerringen und Gegenstücken.
- Durch feste Passungen wird die Radialluft vermindert, eine entsprechend große Luftgruppe ist zu wählen.

Übliche Passungen für Wälzlager

Den Passungscharakter beschreiben die Begriffe Presssitz (feste Passung), Übergangssitz (Übergangspassung) und Schiebesitz (lose Passung). Diese Sitze oder Passungen ergeben sich aus dem Zusammenwirken der Lagertoleranzen für Bohrung (Δ_{dmp}) und für Außendurchmesser (Δ_{Dmp}) und den ISO-Toleranzen für Welle und Gehäuse.

Die ISO-Toleranzen sind in Form von Toleranzfeldern festgelegt. Sie sind bestimmt durch ihre Lage zur Nulllinie (= Toleranzlage) und durch ihre Größe (= Toleranzqualität). Die Toleranzlage wird durch Buchstaben bezeichnet (Großbuchstaben für Gehäuse, Kleinbuchstaben für Wellen), die Toleranzqualität durch Zahlen.

Die Tabellen der Lagertoleranzen sowie Tabellen für Wellen- und Gehäusetoleranzen, außerdem Empfehlungen für Passungen bei bestimmten Einbauverhältnissen sind im Katalog WL 41 520 "FAG Wälzlager" enthalten.

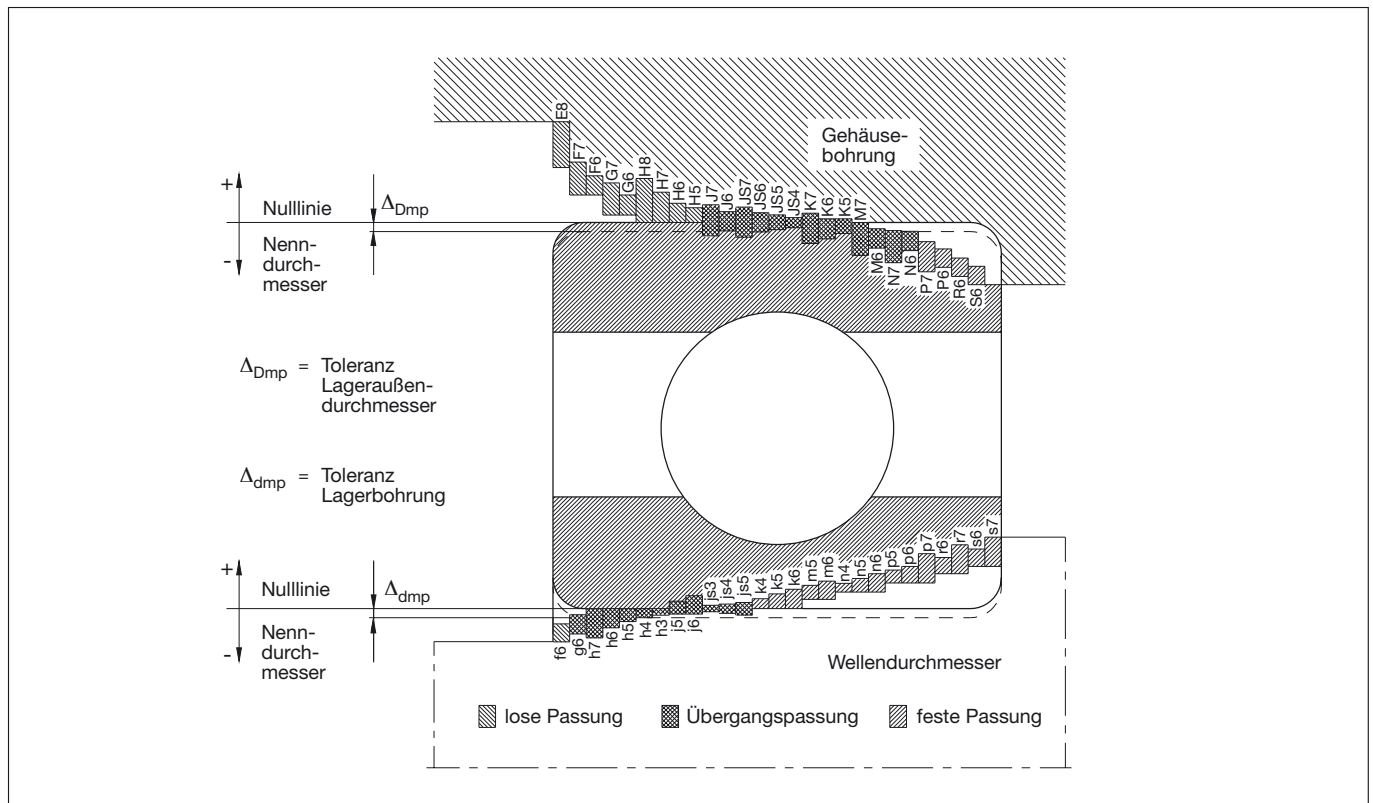
Einbau und Ausbau von Wälzlagern

Die Passung der *Lagerringe*, die Lagerbauart und die Lagergröße haben einen wesentlichen Einfluss darauf, mit welchem Verfahren (mechanisch, thermisch oder hydraulisch) und in welcher Reihenfolge die Ringe ein- und ausgebaut werden. Ausführliche Hinweise zur Montage von Wälzlagern enthält die FAG-Publ.-Nr. WL 80 100.

Passungen · Lageranordnung

Festlager-Loslager-Anordnung

Hauptsächliche Passungen für Wälzlager



Lageranordnung

Zur Führung und Abstützung einer drehenden Welle sind mindestens zwei Lager erforderlich, die in einem bestimmten Abstand voneinander angeordnet sind. Je nach Anwendungsfall wählt man zwischen einer Lagerung mit Fest- und Loslager, einer angestellten Lagerung und einer schwimmenden Lagerung.

Festlager-Loslager-Anordnung

Bei einer Welle, die in zwei *Radiallagern* abgestützt ist, stimmen die Abstände der Lagersitze auf der Welle und im Gehäuse wegen der Fertigungstoleranzen häufig nicht genau überein. Auch durch Erwärmung im Betrieb verändern sich die Abstände. Diese Abstandsunterschiede werden im **Loslager** ausgeglichen. Ideale Loslager sind Zylinderrollenlager N und NU. Bei ihnen kann sich der Rollenkranz auf der Laufbahn des bordlosen *Lagerings* verschieben. Beide Ringe können fest gepasst werden.

Alle anderen Lagerbauarten, z. B. Rillenkugellager und Pendelrollenlager, wirken nur dann als Loslager, wenn ein Lagering verschiebbar gepasst ist. Der mit *Punktlast* beaufschlagte Lagering wird deshalb lose gepasst; meist ist dies der Außenring.

Das **Festlager** dagegen führt die Welle axial und überträgt äußere Axialkräfte. Um Axialverspannungen zu vermeiden, bildet man auch bei Wellen mit mehr als zwei Radiallagern nur ein Lager als Festlager aus.

Welche Lagerbauart als Festlager gewählt wird, hängt davon ab, wie hoch die Axialkräfte sind und wie genau die Welle axial geführt werden muss.

Mit einem zweireihigen Schrägkugellager erzielt man z. B. eine engere axiale Führung als mit einem Rillenkugellager oder Pendelrollenlager. Auch ein Paar spiegelbildlich angeordneter Schrägkugellager oder Kegelrollenlager bietet als Festlager eine sehr enge axiale Führung.

Bei paarweise in *X-* oder *O-Anordnung* eingebauten Schrägkugellagern der Universalausführung oder *zusammengepassten* Kegelrollenlagern (Ausführung N11) sind Anstell- und Passarbeiten nicht erforderlich.

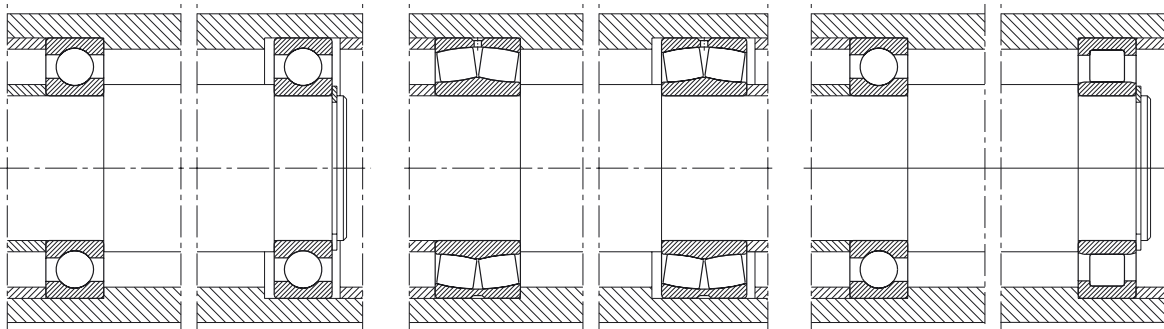
Bei Getrieben wird manchmal ein Vierpunktager direkt neben einem Zylinderrollenlager so eingebaut, dass eine Festlagerstelle entsteht. Das Vierpunktager, dessen Außenring axial nicht unterstützt ist, kann nur axiale Kräfte übertragen. Das Zylinderrollenlager übernimmt die Radialkraft.

Beispiele für Festlager-Loslager-Anordnungen siehe Seite 30.

Lageranordnung

Festlager-Loslager-Anordnung

Beispiele für eine Festlager-Loslager-Anordnung



a. Festlager:
Rillen-
kugellager

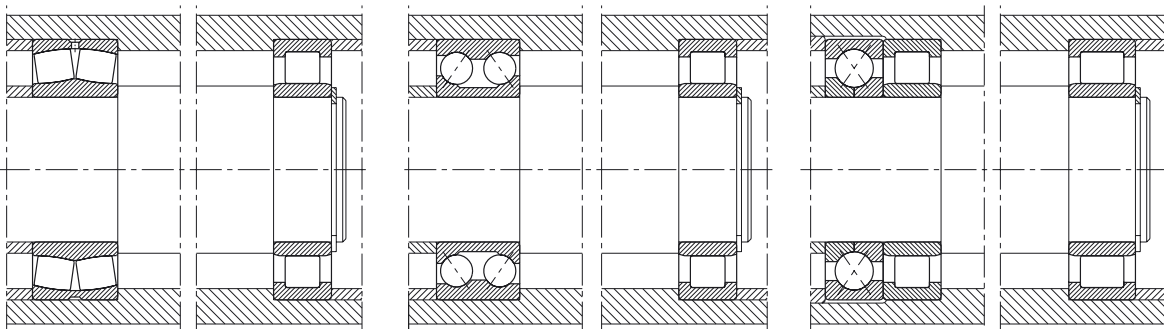
Loslager:
Rillen-
kugellager

b. Festlager:
Pendel-
rollenlager

Loslager:
Pendel-
rollenlager

c. Festlager:
Rillen-
kugellager

Loslager:
Zylinder-
rollenlager NU



d. Festlager:
Pendel-
rollenlager

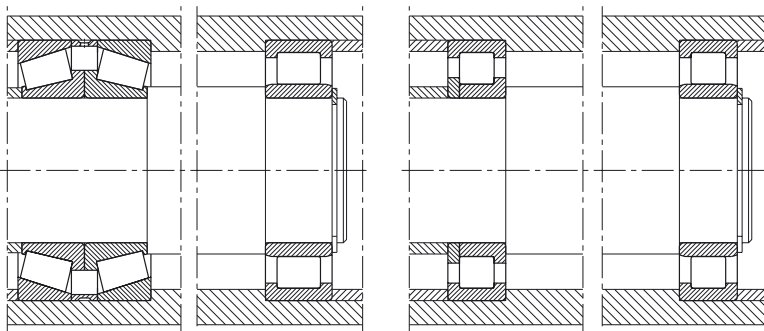
Loslager:
Zylinder-
rollenlager NU

e. Festlager:
Zweireihiges
Schräg-
kugellager

Loslager:
Zylinder-
rollenlager NU

f. Festlager:
Vierpunkt-
lager und Zylinder-
rollenlager NU

Loslager:
Zylinder-
rollenlager NU



g. Festlager:
Zwei Kegel-
rollenlager

Loslager:
Zylinder-
rollenlager NU

h. Festlager:
Zylinder-
rollenlager NUP

Loslager:
Zylinder-
rollenlager NU

Lageranordnung

Angestellte Lagerung · Schwimmende Lagerung

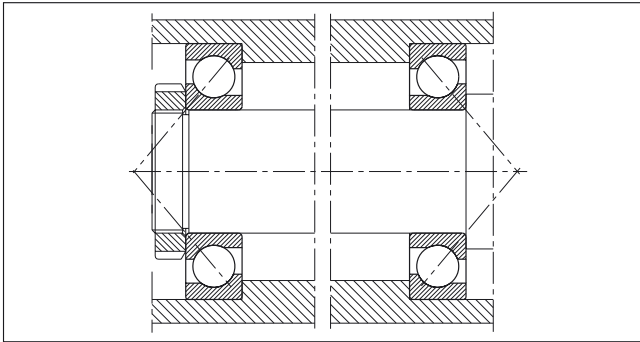
Angestellte Lagerung

Bei der angestellten Lagerung, die in der Regel aus zwei spiegelbildlich angeordneten Schrägkugellagern oder Kegelrollenlagern besteht, wird die *Lagerluft* (das Lagerspiel, siehe auch Seite 24) oder die Vorspannung eingestellt.

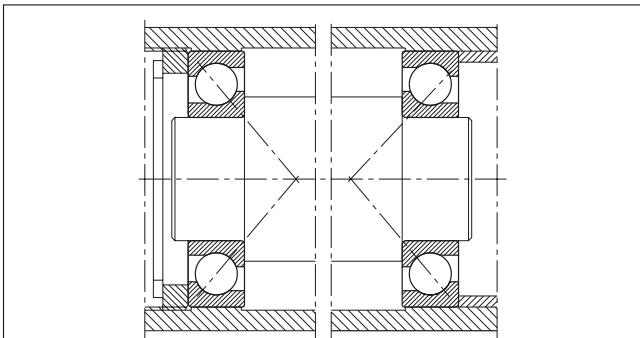
Dazu wird bei **O-Anordnung** der Innenring, bei **X-Anordnung** der Außenring axial so weit verschoben, bis die gewünschte Einstellung erreicht ist. Diesen Vorgang bezeichnet man in der Wälzlagertechnik als "Anstellen" (Angestellte Lagerung). Wegen dieser Einstellmöglichkeit eignet sich die angestellte Lagerung besonders für Fälle, in denen eine enge axiale Führung notwendig ist, z. B. bei Ritzellagerungen mit spiralverzahnten Kegelrädern oder Spindellagerungen in Werkzeugmaschinen.

Bei der O-Anordnung zeigen die von den *Drucklinien* gebildeten Kegel mit ihren Spitzen nach außen, bei der X-Anordnung nach innen. Die *Stützbasis*, d. h. der Abstand der *Druckkegelspitzen*, ist bei der O-Anordnung größer als bei der X-Anordnung. Deshalb ergibt die O-Anordnung das geringere Kippspiel.

Angestellte Lagerung in O-Anordnung



Angestellte Lagerung in X-Anordnung



Schwimmende Lagerung

Die schwimmende Lagerung ist eine wirtschaftliche Lösung, wenn keine enge axiale Führung der Welle verlangt wird. Der Aufbau ist ähnlich wie bei der *angestellten Lagerung*. Die Welle kann sich bei der schwimmenden Lagerung jedoch um das Axialspiel s gegenüber dem Gehäuse verschieben. Der Wert für s wird in Abhängigkeit von der geforderten Führungsgenauigkeit so festgelegt, dass die Lager auch bei ungünstigen thermischen Verhältnissen nicht axial verspannt werden.

Bei schwimmenden Lagerungen mit Zylinderrollenlagern NJ findet der Längenausgleich in den Lagern statt. Innen- und Außenringe können fest gepasst werden.

Auch nicht *zerlegbare Radiallager* wie Rillenkugellager, Pendelkugellager und Pendelrollenlager eignen sich für schwimmende Lagerungen. Bei beiden Lagern erhält je ein Ring – gewöhnlich ein Außenring – eine lose *Passung*.

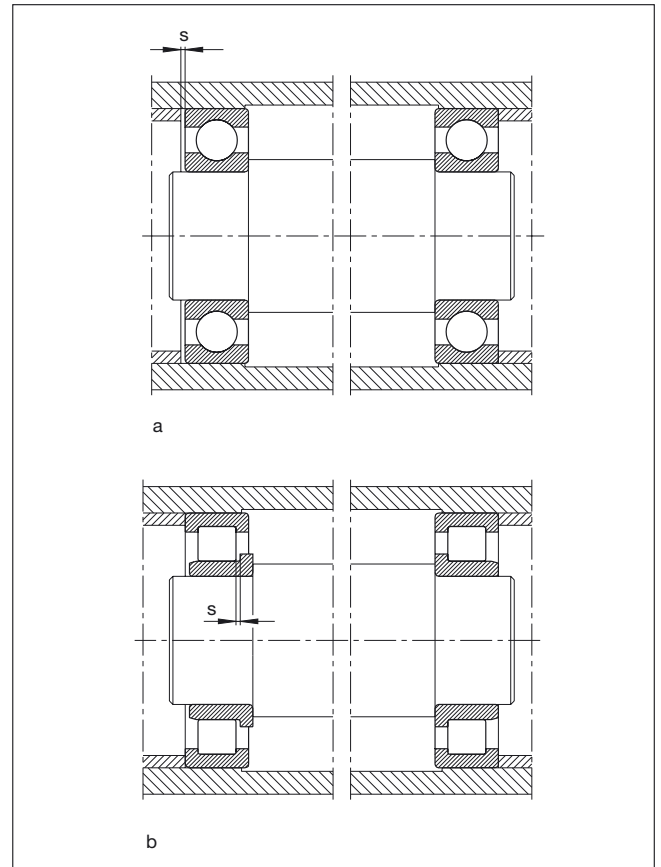
Kegelrollenlager und Schrägkugellager eignen sich nicht für eine schwimmende Anordnung, weil man sie *anstellen* muss, damit sie einwandfrei ablaufen.

Beispiele für eine schwimmende Lagerung

(s = Axialspiel)

a = zwei Rillenkugellager

b = zwei Zylinderrollenlager NJ



Lageranordnung · Symbole

Weitere Begriffe zur Lageranordnung

Gegenführung

Schräglager und einseitig wirkende *Axiallager* nehmen axiale Kräfte nur in einer Richtung auf. Ein zweites, spiegelbildlich eingebautes Lager muss die "Gegenführung" übernehmen, d. h. die axialen Kräfte in der anderen Richtung aufnehmen (vgl. auch "Angestellte Lagerung", Seite 31).

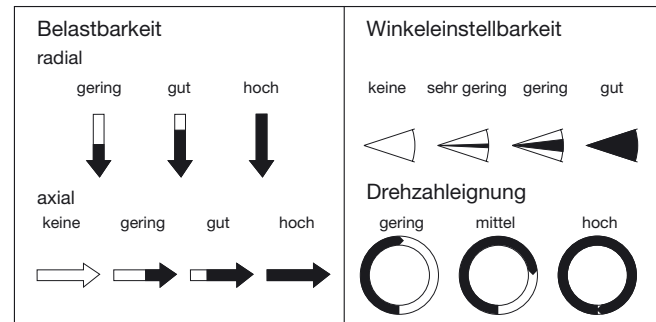
Tandem-Anordnung

Werden zwei oder mehrere *Schräglager* gleichsinnig, d. h. nicht spiegelbildlich, unmittelbar nebeneinander eingebaut, spricht man von "Tandem-Anordnung". Dabei verteilt sich die Axialkraft auf alle Lager. Eine gleichmäßige Verteilung ergibt sich bei *Schräglagern* in *Universalausführung* (vgl. "Zusammengepasste Wälzlager", Seite 50).

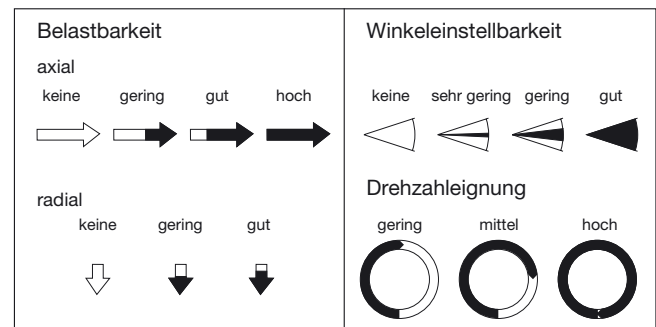
Symbole für Belastbarkeit, Winkeleinstellbarkeit, Drehzahleignung

Die Symbole ermöglichen einen Vergleich der verschiedenen Bauarten, jedoch nur innerhalb der *Radiallager* und der *Axiallager*. Die Relationen gelten für Lager mit gleichem Bohrungsdurchmesser.

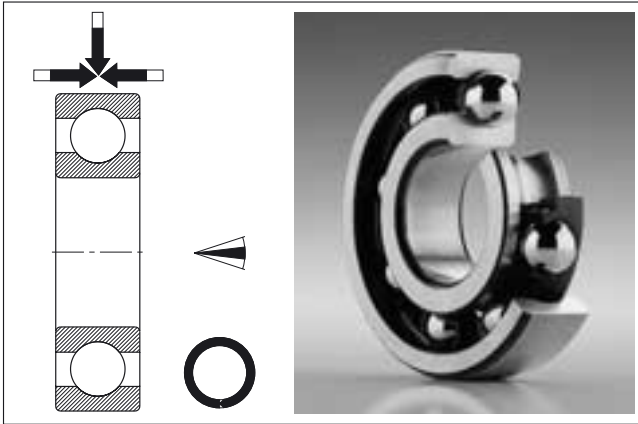
Radiallager



Axiallager



Rillenkugellager



einreihig: Reihen 618, 160, 161, 60, 62, 622, 63, 623, 64
zweireihig: Reihen 42B, 43B

Einreihige Rillenkugellager nehmen radiale und axiale Kräfte auf; sie sind für hohe Drehzahlen geeignet. Rillenkugellager sind nicht zerlegbar. Wegen seiner vielfältigen Verwendbarkeit und seines günstigen Preis-Leistungs-Verhältnisses ist das Rillenkugellager die am meisten verwendete Lagerbauart.

Normen

Einreihige Rillenkugellager	DIN 625-1
Zweireihige Rillenkugellager	DIN 625-3
Maßplan	DIN 616

Toleranzen, Lagerluft

Einreihige Rillenkugellager der Grundauführung haben Normluft und Normaltoleranzen. Daneben sind auch Ausführungen mit vergrößerter Lagerluft (Nachsetzzeichen C3) oder mit eingegengten Toleranzen lieferbar.

Winkeleinstellbarkeit

Lagerreihe	niedrige Belastung	hohe Belastung
	in Winkelminuten	in Winkelminuten
62, 622, 63, 623, 64	5...10'	8...16'
618, 160, 60	2...6'	5...10'

Druckwinkel

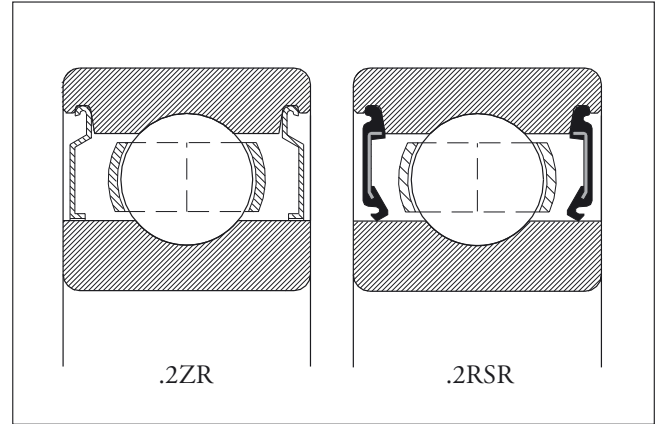
Nenndruckwinkel $\alpha_0 = 0^\circ$. Bei Axialbelastung und vergrößerter Lagerluft kann der Druckwinkel auf 20° steigen.

Käfige

Rillenkugellager ohne Käfig-Nachsetzzeichen haben einen Blechkäfig aus Stahl. Bei den übrigen Rillenkugellagern ist die Käfigausführung aus dem Lagerkurzzeichen zu ersehen.

Belastbarkeit

Radial und axial gut.



Drehzahleignung

Hoch bis sehr hoch.

Temperatur-Einsatzgrenze

FAG Rillenkugellager sind so wärmebehandelt, dass sie bis 150°C maßstabil sind. Bei abgedichteten Lagern ist deren Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten. FAG Rillenkugellager für Kalksandstein-Härtewagen (besondere Wärmebehandlung, vergrößerte Radialluft, Schmierung mit Festschmierstoff) siehe Publ.-Nr. WL 07 137.

Abgedichtete Rillenkugellager

Rillenkugellager mit ZR-Deckscheiben (nicht berührende Dichtungen, bei Kleinstlagern Z) oder mit RSR-Dichtscheiben (berührende Dichtungen, bei Kleinstlagern RS) ermöglichen einfache Konstruktionen. Die Lager können einseitig und beidseitig abgedichtet sein. Bei beidseitiger Abdichtung erhalten sie bei der Herstellung eine Fettfüllung, die bei normalen Betriebsbedingungen ausreichend für die Lebensdauer der Lager ist (for-life-Schmierung). Verwendet werden nach FAG-Vorschrift geprüfte Qualitätsfette. Die nichtberührende Dichtung RSD vereinigt den Vorteil der Deckscheibe (keine Reibung) und den der Dichtscheibe (gute Dichtwirkung). Diese Ausführung ermöglicht hohe Drehzahlen auch bei drehendem Außenring.

Rillenkugellager aus nichtrostendem Stahl

Sie werden eingesetzt bei Anwesenheit von Wasser oder aggressiven Medien und sind ohne oder mit Dichtungen verfügbar.

Kurzzeichen:

Vorsetzzeichen S + Nachsetzzeichen W203B.

Beispiele:

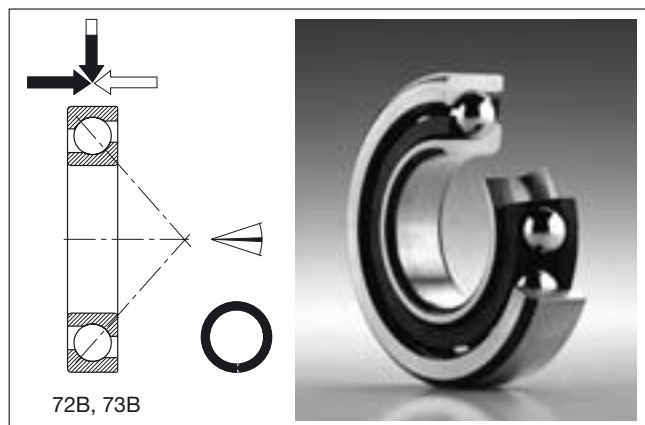
S6205.W203B

S6205.2RSR.W203B.

Zweireihige Rillenkugellager

Bei höherer Belastung werden zweireihige Rillenkugellager eingesetzt. In der Normalausführung ohne Füllnut (Reihen 42B und 43B) haben sie Kunststoffkäfige und werden gefettet geliefert. Zweireihige Rillenkugellager sind nicht winkleinstellbar. In der Grundauführung haben sie normale Lagerluft und Normaltoleranzen.

Schrägkugellager, einreihig



Reihen 72B, 73B

Einreihige Schrägkugellager nehmen nur in einer Richtung Axialkräfte auf; sie werden normalerweise gegen ein zweites, spiegelbildlich angeordnetes Lager, *angestellt*. Einreihige Schrägkugellager sind nicht *zerlegbar*. Sie eignen sich für hohe Drehzahlen.

Normen

Einreihige Schrägkugellager DIN 628-1

Universalausführung

Wird bei Schrägkugellagern eine bestimmte *Axialluft* benötigt, so kommen Lager in *Universalausführung* (Nachsetzzeichen U) zum Einsatz. Bei ihnen sind die Lagerseitenflächen zu den Laufbahnen so abgestimmt, daß nicht eingebaute Lagerpaare in *X- oder O-Anordnung* oder einer Kombination von *X- oder O- und Tandem-Anordnung* eine bestimmte *Axialluft* haben (siehe auch Abschnitt "*Zusammengepasste Wälzlager*").

Am häufigsten sind U-Ausführungen mit den Nachsetzzeichen:

UA geringe *Axialluft*

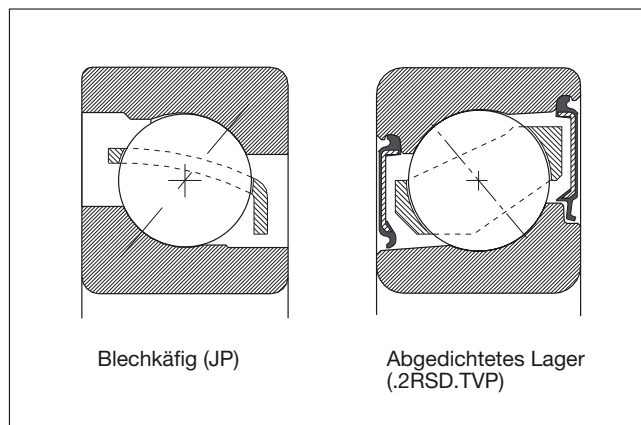
UO spielfrei

Bei festen *Passungen* vermindert sich die Axialluft bzw. erhöht sich die Vorspannung des Lagerpaars (Passungsempfehlungen für Schrägkugellager siehe Katalog WL 41 520).

Bei Bestellung von Lagern in U-Ausführung ist die Stückzahl der Lager anzugeben, nicht die Anzahl der Lagergruppen.

Toleranzen

Schrägkugellager der Reihen 72B und 73B werden in der Grundauführung mit normalen *Toleranzen* gefertigt. Lager mit erhöhter Genauigkeit (*Toleranzklasse P5*) auf Anfrage.



Druckwinkel

Schrägkugellager der Reihen 72B und 73B haben einen *Druckwinkel* von 40°.

Käfig

Die kleineren Schrägkugellager haben *Polyamidkäfige* (Nachsetzzeichen TVP), die größeren Messing-*Massivkäfige* (MP). Kleinere Lager sind auch mit einem universell einsetzbaren *Blechkäfig* aus Stahl (Nachsetzzeichen JP) lieferbar.

Abgedichtete einreihige Schrägkugellager

Wartungsfreie, leicht zu montierende und kostengünstige Lagerungen ergeben sich mit abgedichteten Lagern der Reihen 72B und 73B, die auf Anfrage geliefert werden. Die Lager mit nichtberührenden Dichtungen auf beiden Seiten haben das Nachsetzzeichen .2RSD. Sie sind mit einem nach FAG-Vorschriften geprüften Qualitätsfett gefüllt.

Winkeleinstellbarkeit

Sehr gering.

Belastbarkeit

Axial hoch, radial gut.

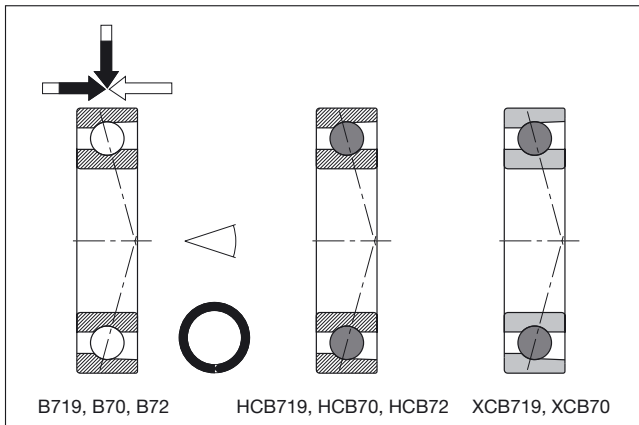
Drehzahlleistung

Hoch.

Temperatur-Einsatzgrenze

Schrägkugellager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150 °C eingesetzt werden können. Bei Lagern mit *Polyamidkäfig* und bei abgedichteten Lagern ist deren Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.

Spindellager



Reihen B719, B70, B72,
 HS719, HS70,
 HC719, HC70
 HCB719, HCB70, HCB72
 XC719, XC70
 XCB719, XCB70

FAG Spindellager sind eine besondere Ausführung der einreihigen Schrägkugellager: sie wurden vor allem für die Lagerung schnelllaufender Arbeitsspindeln von Werkzeugmaschinen entwickelt. Von den normalen Schrägkugellagern unterscheiden sie sich durch *Druckwinkel*, *Genauigkeit* und *Käfigausführung*. Abgestimmt auf die Betriebsbedingungen verwendet man unterschiedliche Ausführungen der Spindellager. Neben Lagern mit normal großen Stahlkugeln (B...) oder Keramikugeln (HCB...) stehen für noch höhere Drehzahlen Lager mit kleinen Stahlkugeln (HS...), besonders aber Hybrid-Keramiklager mit kleinen Keramikugeln (HC...) zur Verfügung. Höchste Anforderungen an Lebensdauer und Gesamtwirtschaftlichkeit erfüllen *X-life* ultra Spindellager (XC...). Neben offenen Spindellagern (Zeichnungen links) gibt es *abgedichtete* Spindellager aller oben aufgeführten Reihen (Zeichnungen rechts).

Universalausführung

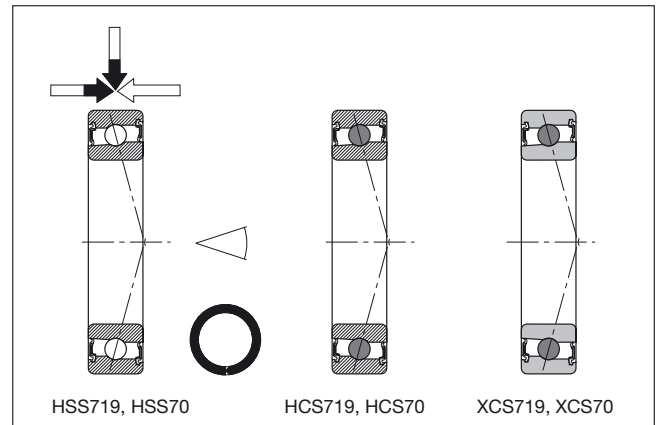
Spindellager der Universalausführung sind für den paarweisen Einbau in *X*-, *O*- oder *Tandem-Anordnung* oder für den gruppenweisen Einbau in jeder beliebigen Anordnung bestimmt. Lagerpaare der Universalausführung UL haben vor dem Einbau eine leichte Vorspannung bei *X*- oder *O*-Anordnung (siehe auch Abschnitt „Zusammengesetzte Wälzlager“).

Bei festen *Passungen* erhöht sich die Vorspannung des Lagerpaars (Passungsempfehlungen siehe FAG-Publ.-Nr. AC 41 130).

Bei Bestellung von Lagern in U-Ausführung ist die Stückzahl der Lager anzugeben, nicht die Anzahl der Lagerpaare oder Lagergruppen.

Toleranzen

Spindellager werden nur mit eingegengten Toleranzen geliefert (Toleranzklasse P4S mit Maß- und Formgenauigkeit der Toleranzklasse P4 und Laufgenauigkeit der Toleranzklasse P2).



Druckwinkel

Spindellager werden mit Druckwinkeln von 15° (Nachsetzzeichen C) und 25° (Nachsetzzeichen E) gefertigt.

Käfig

Der normale Käfig der Spindellager ist ein Massivkäfig aus Hartgewebe (T), der am Außenring geführt wird. Der Käfig eignet sich längerfristig für Temperaturen bis 100 °C.

Abgedichtete Spindellager

Einbaufertige, lebensdauergeschmierte und damit wartungsfreie Spindellager ergeben besonders wirtschaftliche Lösungen. Abgedichtete Spindellager sind mit dem FAG Hochleistungsfett Arcanol L75 gefüllt und haben beidseitig berührungsfreie RSD-Dichtungen. Bei Spindellagern mit normal großen Stahl- oder Keramikugeln (B..., HCB... und XCB...) erkennt man die abgedichtete Ausführung am Nachsetzzeichen .2RSD. Bei abgedichteten Spindellagern mit kleinen Kugeln wird im Vorsetzzeichen S (= sealed) ergänzt, z. B. HSS..., HCS... und XCS....

Winkleinstellbarkeit

Sehr gering.

Belastbarkeit

Axial und radial gut, bei Lagern mit kleinen Kugeln gering.

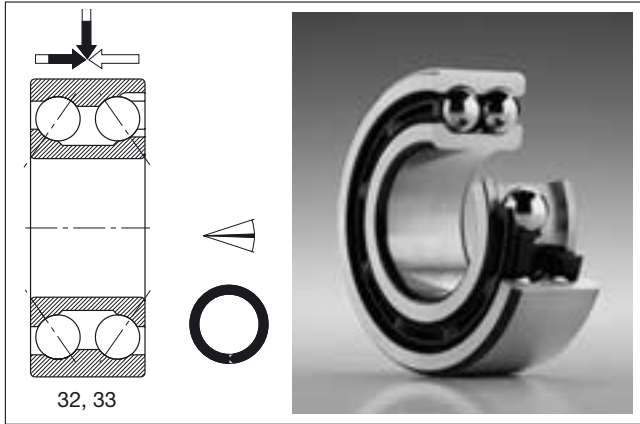
Drehzahleignung

Sehr hoch, insbesondere bei Spindellagern mit kleinen Kugeln aus Keramik (HC..) und *X-life* ultra Spindellagern.

X-life ultra Spindellager

Die Lager mit dem Vorsetzzeichen X zeichnen sich aus durch Keramikugeln und Ringe aus Hochleistungsstahl. Sie bieten deutlich längere Laufzeiten, bessere Drehzahleignung und geringere Schmierstoffbeanspruchung. Mit *X-life* ultra Spindellagern ergeben sich vergleichsweise günstige Gesamtkosten.

Schrägkugellager, zweireihig



Reihen 32, 33
Druckwinkel 35°

Das zweireihige Schrägkugellager entspricht in seinem Aufbau einem Paar einreihiger Schrägkugellager in *O-Anordnung*. Das Lager kann hohe radiale Kräfte und in beiden Richtungen axiale Kräfte aufnehmen. Es ist besonders für Lagerungen geeignet, bei denen eine starre axiale Führung gefordert wird.

Zweireihige Schrägkugellager gibt es in 3 Ausführungen:

- mit ungeteiltem Innenring und Füllnuten auf einer Seite (ohne Nachsetzzeichen): Reihen 32, 33
- mit geteiltem Innenring, ohne Füllnuten (Nachsetzzeichen DA): Reihe 33DA
- mit ungeteiltem Innenring, ohne Füllnuten, gefettet (Nachsetzzeichen B.TVH): Reihen 32B, 33B

Normen

Zweireihige Schrägkugellager DIN 628-3

Toleranzen, Lagerluft

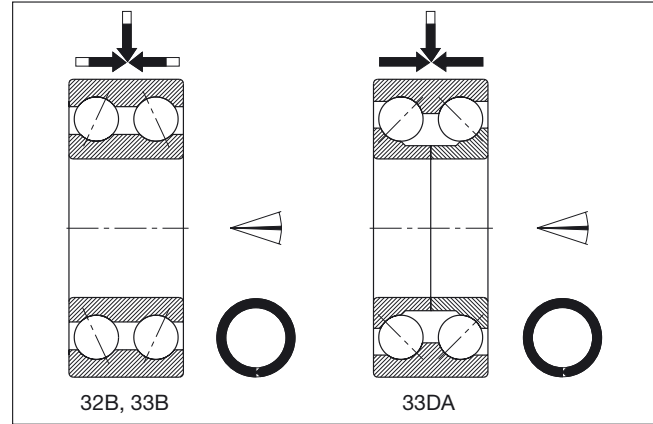
Zweireihige Schrägkugellager haben in der Grundausführung Normaltoleranz und Normalluft. Lieferbar sind auch Lager mit größerer (C3) und kleinerer (C2) Axialluft als normal.

Zweireihige Schrägkugellager mit geteiltem Innenring, die für höhere Axialbelastungen vorgesehen sind, werden in der Regel fester gepasst als ungeteilte Lager. Ihre Normalluft entspricht der Luftgruppe C3 der ungeteilten Lager.

Die Radialluft beträgt bei ungeteilten Lagern mit Füllnuten rund 70 % der Axialluft, bei Lagern ohne Füllnuten rund 50 % der Axialluft. Bei den Lagern mit geteiltem Innenring sind Axial- und Radialluft gleich.

Temperatur-Einsatzgrenze

Zweireihige Schrägkugellager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150 °C eingesetzt werden können. Bei Lagern mit Polyamidkäfig und bei abgedichteten Lagern ist deren Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.



Reihen 32B, 33B
Druckwinkel 25°

Reihe 33DA
Druckwinkel 45°

Käfige

Zweireihige Schrägkugellager mit *Blechkäfigen* haben kein Käfig-Nachsetzzeichen. Lager mit Messing-*Massivkäfigen* sind durch die Nachsetzzeichen M oder MA gekennzeichnet. Zweireihige Schrägkugellager mit Massivkäfig aus glasfaserverstärktem *Polyamid* erkennt man am Nachsetzzeichen TVH oder TVP.

Druckwinkel

Die zweireihigen Schrägkugellager ohne Füllnuten mit nicht geteiltem Innenring haben den *Druckwinkel* 25°, Lager mit Füllnuten den Druckwinkel 35°. Die hohe axiale Tragfähigkeit der Lager mit geteiltem Innenring beruht auf dem Druckwinkel 45°.

Abgedichtete zweireihige Schrägkugellager

Lager der Reihen 32B und 33B gibt es auch mit ZR-Deckscheiben (nichtberührende *Dichtungen*) und RSR-Dichtscheiben (berührende Dichtungen) auf beiden Seiten. Diese Lager erhalten bei der Herstellung eine Füllung mit geprüftem Qualitätsfett.

Winkeleinstellbarkeit

Sehr gering.

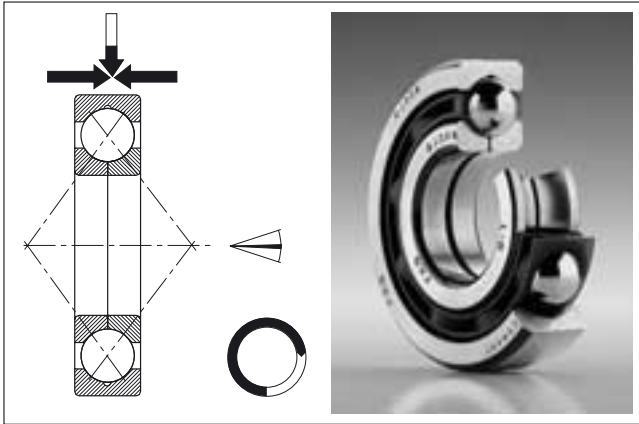
Belastbarkeit

Die axiale Belastbarkeit von Lagern mit Füllnuten ist auf der Füllnutseite geringer als auf der Gegenseite. Lager ohne Füllnuten nehmen nach beiden Richtungen gleich hohe Axialkräfte auf. Die Ausführung mit geteiltem Innenring hat eine besonders hohe axiale Tragfähigkeit.

Drehzahleignung

Nicht so hoch wie bei einreihigen Rillenkugellagern oder Schrägkugellagern.

Vierpunktlager



Reihen QJ2, QJ3

Vierpunktlager sind einreihige Schrägkugellager, die Axialkräfte in beiden Richtungen und geringe Radialkräfte aufnehmen.

Der Innenring der Vierpunktlager ist geteilt; dadurch lässt sich eine große Zahl von Kugeln unterbringen. Der Außenring mit Kugelkranz und die Innenringhälften können getrennt eingebaut werden.

Normen

Schrägkugellager (Vierpunktlager) DIN 628-4

Toleranzen, Lagerluft, Druckwinkel

Vierpunktlager werden meist mit Normaltoleranz und mit normaler Lagerluft gefertigt. Die hohe Tragfähigkeit in axialer Richtung wird durch die große Kugelanzahl, die hohen Laufbahnschultern und den Druckwinkel von 35° erzielt.

Käfige

Je nach Lagerreihe und -größe haben Vierpunktlager *Massivkäfige* aus glasfaserverstärktem *Polyamid* (Nachsetzzeichen TVP) oder Messing (MPA).

Haltenuten

Vierpunktlager, die man als Axiallager einbaut, erhalten im Gehäuse *Passungsspiel*, damit sie radial nicht belastet werden. Zur Fixierung der Außenringe haben größere Vierpunktlager zwei Haltenuten (Nachsetzzeichen N2).

Winkeleinstellbarkeit

Sehr gering.

Belastbarkeit

Axial in beiden Richtungen groß, radial gering.

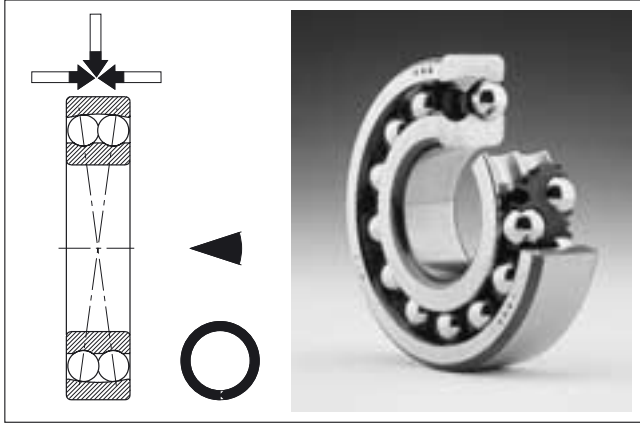
Drehzahleignung

Mittel bis hoch (bei rein axialer Beanspruchung, vgl. Katalog WL 41 520).

Temperatur-Einsatzgrenze

FAG Vierpunktlager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150°C eingesetzt werden können. Bei Lagern mit Polyamidkäfig ist dessen Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.

Pendelkugellager



Reihen 12, 13, 22, 23
Reihe 112 mit breitem Innenring

Das Pendelkugellager ist ein zweireihiges Lager mit hohlkugelliger Außenringlaufbahn. Dadurch ist es *winkeleinstellbar* und unempfindlich gegen Fluchtfehler, Wellendurchbiegungen und Gehäuseverformungen. Pendelkugellager sind nicht *zerlegbar*.

Normen

Pendelkugellager DIN 630
Spannhülsen DIN 5415

Toleranzen, Lagerluft

Pendelkugellager der Grundausführung mit zylindrischer Bohrung werden mit Normaltoleranz und in der Luftgruppe "normal" gefertigt. Lager mit kegeliger Bohrung haben in der Grundausführung die vergrößerte *Radialluft C3*.

Druckwinkel

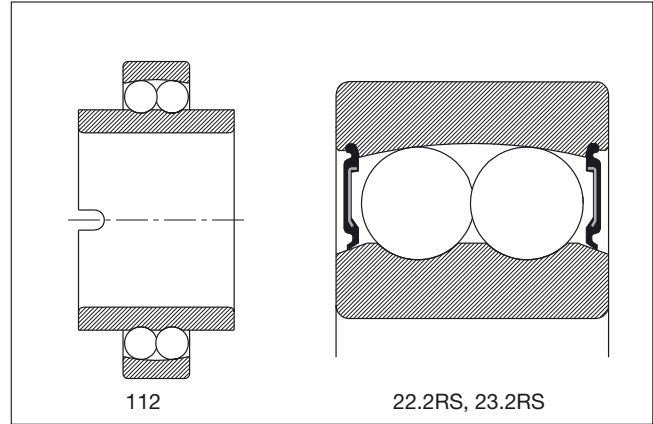
$\alpha_0 = 6 \dots 20^\circ$, abhängig von der Lagerreihe.

Käfige

Kleinere Pendelkugellager haben einen kugelgeführten *Massivkäfig* aus glasfaserverstärktem *Polyamid* (Nachsetzzeichen TV); größere Pendelkugellager werden mit einem kugelgeführten Massivkäfig aus Messing ausgerüstet (Nachsetzzeichen M).

Kegelige Bohrung

Pendelkugellager mit dem Bohrungskegel 1:12 (Nachsetzzeichen K) werden entweder unmittelbar auf kegeligen Wellensitzen oder mit Spannhülsen auf zylindrischen Wellen befestigt.



Lager mit breitem Innenring

Pendelkugellager der Reihe 112 haben einen breiten Innenring. Sie werden mit Spannstiften befestigt, die in die Ausnehmung auf der einen Seite des Innenrings eingreifen. Zwei Pendelkugellager, die eine Welle abstützen, werden so eingebaut, dass die Ausnehmungen entweder auf den einander zugewandten Seiten der Lager oder auf den abgewandten Seiten liegen. Die Lagerbohrung hat bei der Reihe 112 die Toleranz J7.

Abgedichtete Pendelkugellager

Abgedichtete Pendelkugellager haben Dichtscheiben (berührende *Dichtungen*) auf beiden Seiten (Reihen 22.2RS, 22K.2RS und 23.2RS). Diese Lager erhalten bei der Herstellung eine Fettfüllung.

Winkeleinstellbarkeit

Nicht abgedichtete Pendelkugellager können um rund 4° aus der Mittellage geschwenkt werden; abgedichtete Pendelkugellager bis max. $1,5^\circ$.

Belastbarkeit

Radial und axial gering.

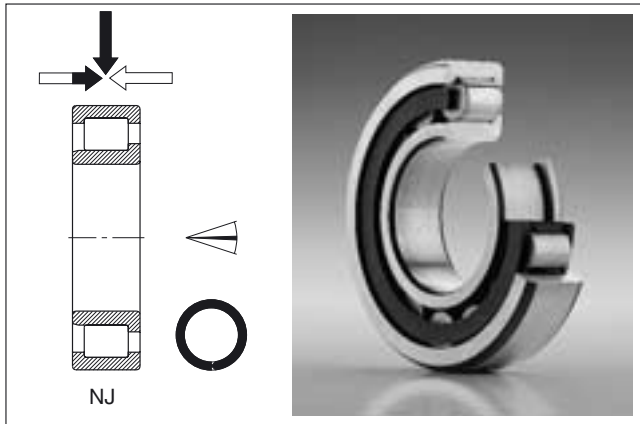
Drehzahleignung

Hoch.

Temperatur-Einsatzgrenze

FAG Pendelkugellager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150°C eingesetzt werden können. Bei Lagern mit Polyamidkäfig und bei abgedichteten Lagern ist deren Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.

Zylinderrollenlager, einreihig und zweireihig



Reihen

einreihig: NU19, NU10, NU2, NU22, NU3, NU23, NU4, auch mit anderer Bordausführung
zweireihig: NNU49S(K), NN30ASK

Die *Zerlegbarkeit* der Zylinderrollenlager erleichtert den Ein- und Ausbau. Beide Ringe kann man fest *passen*.

Die verschiedenen Ausführungen der **einreihigen** Zylinderrollenlager unterscheiden sich durch die Anordnung der Borde. Die Ausführung NU hat zwei Borde am Außenring und einen bordlosen Innenring. Bei der Ausführung N hat der Innenring zwei Borde; der Außenring ist bordlos. Zylinderrollenlager der Ausführung NU und N werden als *Loslager* eingesetzt; sie ermöglichen den Längenausgleich innerhalb des Lagers.

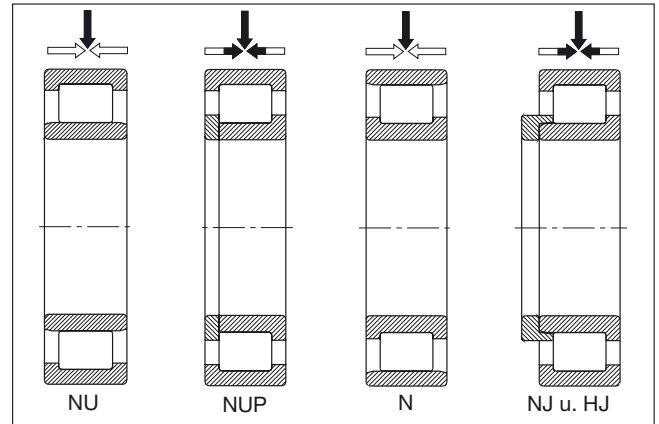
Zylinderrollenlager NJ haben zwei Borde am Außenring und einen Bord am Innenring. Sie können Axialkräfte in einer Richtung übertragen.

Als *Festlager* zur Aufnahme wechselseitig wirkender Axialkräfte werden Zylinderrollenlager NUP eingebaut. Sie haben am Außenring zwei Borde, am Innenring einen festen Bord und eine lose Bordscheibe. Ein Zylinderrollenlager NJ mit einem Winkelring HJ bildet ebenfalls ein *Festlager*.

Einreihige Zylinderrollenlager in verstärkter Ausführung (Nachsetzzeichen E, bei größeren Lagern auch EX) liefert FAG als Grundauführung in den Reihen 2E, 22E, 3E und 23E. Bei diesen Lagern ist der Rollenkranz auf höchste Tragfähigkeit ausgelegt.

Zweireihige FAG Zylinderrollenlager der Reihe NN30ASK haben einen bordlosen Außenring und einen Innenring mit drei Borden. Das Nachsetzzeichen S bezeichnet Schmiernut und Schmierbohrungen im Außenring, K die kegelige Lagerbohrung (Kegel 1 : 12).

Bei zweireihigen Lagern der Reihe NNU49S hat der Außenring drei Borde, während der Innenring bordlos ist. Die zweireihigen Lager sind *Loslager*. Sie ermöglichen radial starre, tragfähige und hochgenaue Lagerungen.



Normen

Einreihige Zylinderrollenlager	DIN 5412-1
Zweireihige Zylinderrollenlager	DIN 5412-4
Zylinderrollenlager für elektrische Maschinen in Elektrofahrzeugen	DIN 43283
Winkelringe	ISO 246 und DIN 5412-1

Toleranzen, Lagerluft

Einreihige Zylinderrollenlager der Grundauführung werden in der *Toleranzklasse* "normal" und mit normaler *Radialluft* geliefert. Auf Anfrage liefern wir auch Ausführungen mit dem Nachsetzzeichen C3 (Radialluft größer als normal) und C4 (Radialluft größer als C3).

Zweireihige Zylinderrollenlager sind *Genauigkeitslager* mit eingengten Toleranzen nach *Toleranzklasse* SP (FAG-Festlegung). Diese Lager haben die verkleinerte Radialluft C1NA (Luftgruppe C1 nach FAG-Festlegung, *Lagering*e nicht austauschbar). C1NA wird nicht im Lagerkurzzeichen angegeben.

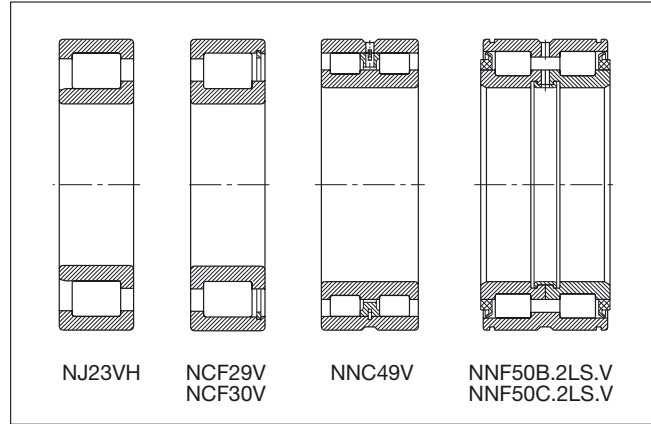
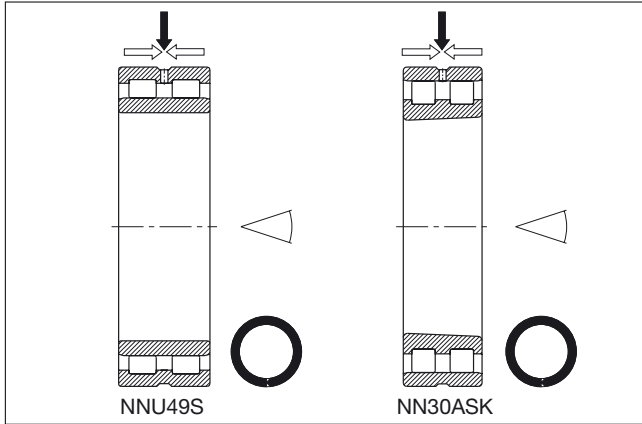
Hüllkreismaße

Die Hüllkreismaße F und E sind vor allem wichtig, wenn ein Umbauteil als Laufbahn dient, anstelle des abziehbaren Ringes.

- Ein NU-Lager ohne Innenring wird zur Ausführung RNU, der Rollenkranz mit Hüllkreis F läuft direkt auf der Welle.
- Ein N-Lager ohne Außenring wird zur Ausführung RN, der Rollenkranz mit Hüllkreis E läuft direkt im Gehäuse.

Wegen der meist unterschiedlichen Hüllkreise sind Teile von E-Lagern nicht austauschbar mit denen unverstärkter Lager mit gleichem Basiskennzeichen. Dies gilt auch für Teile neuer EX-Ausführungen und alter E-Ausführungen.

Zylinderrollenlager, einreihig und zweireihig · Zylinderrollenlager, vollrollig



Winkeleinstellbarkeit

Die modifizierte Linienberührung zwischen Rollen und Laufbahnen verhindert Kantenspannungen und lässt eine gewisse *Winkeleinstellbarkeit* der einreihigen Zylinderrollenlager zu. Bei einem Belastungsverhältnis $P/C \leq 0,2$ darf der Einstellwinkel maximal 4 Winkelminuten betragen.

P = dynamisch äquivalente Belastung [kN],
 C = dynamische Tragzahl [kN]

Wenn höhere Belastungen oder größere Verkipnungen vorliegen, bitte bei FAG rückfragen.

Die Einbaustellen zweireihiger Zylinderrollenlager dürfen keine Fluchtfehler aufweisen.

Käfige

Einreihige Zylinderrollenlager ohne Käfig-Kennzeichen haben einen *Blechkäfig* aus Stahl.

Die Nachsetzzeichen M und M1 bezeichnen Lager mit rollengeführten Messing-*Massivkäfigen*.

Kleinere Lager der Reihen 2E, 22E, 3E und 23E haben Käfige aus glasfaserverstärktem *Polyamid 66* (Nachsetzzeichen TVP2).

Belastbarkeit

Radial sehr hoch. Axialbelastung nur möglich bei den Ausführungen NJ und NUP oder bei Verwendung von Winkelringen HJ (NJ + HJ).

Drehzahleignung

Hoch bis sehr hoch.

Temperatur-Einsatzgrenze

FAG Zylinderrollenlager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150 °C eingesetzt werden können. Bei Lagern mit Polyamidkäfig ist dessen Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.

Reihen vollrolliger Zylinderrollenlager

einreihig: NCF29V, NCF30V,
 NJ23VH
 zweireihig NNC49V,
 NNF50B.2LS.V,
 NNF50C.2LS.V

Vollrollige Zylinderrollenlager eignen sich für besonders hoch beanspruchte Lagerstellen und niedrige Drehzahlen.

Einreihige vollrollige Lager nehmen neben sehr hohen Radialkräften auch Axialkräfte in einer Richtung auf. Lager der Reihen NCF29V und NCF30V haben zwei feste Borde am Innenring und sind nicht *zerlegbar*. Bei den zerlegbaren Lagern der Reihe NJ23VH sitzt der Rollenkranz selbsthaltend im Außenring, so dass die Rollen auch bei abgezogenem Innenring nicht herausfallen.

Zweireihige vollrollige Zylinderrollenlager nehmen sehr hohe Radialkräfte, Axialkräfte in beiden Richtungen sowie Kippmomente auf. Lager der Reihe NNC49V haben eine Schmiernut und Schmierbohrungen im Außenring. Die Fettfüllung der auf beiden Seiten abgedichteten Lager NNF50B.2LS.V und NNF50C.2LS.V (entsprechende Temperatur-Einsatzgrenze beachten) reicht für die *Gebrauchsdauer* der Lager.

Winkeleinstellbarkeit

Die *Winkeleinstellbarkeit* entspricht der von Zylinderrollenlagern mit *Käfig*.

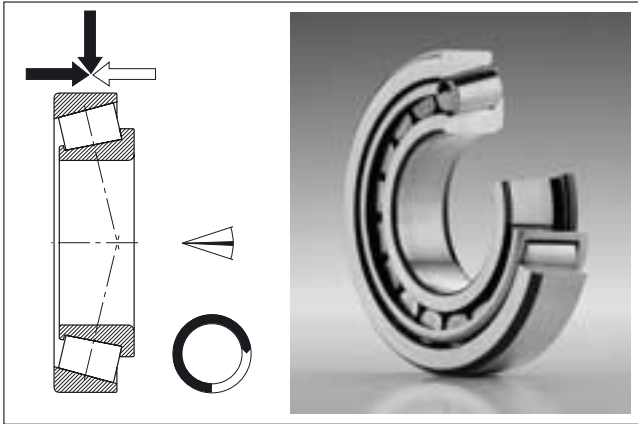
Toleranzen, Lagerluft

Vollrollige Zylinderrollenlager der Grundausführung haben die Normaltoleranz der *Radiallager*. *Abgedichtete* zweireihige Lager liefert FAG mit normaler *Radialluft*. Nicht abgedichtete ein- und zweireihige Lager haben die vergrößerte Lagerluft C3.

Drehzahleignung

Weil sich die Rollen an ihren Berührstellen entgegengesetzt drehen, haben vollrollige Zylinderrollenlager eine erheblich höhere Reibung als Lager mit *Käfig*. Sie eignen sich deshalb nur für niedrige Drehzahlen.

Kegelrollenlager



Reihen 329, 320, 330, 331, 302, 322, 332, 303, 313, 323

Kegelrollenlager sind *zerlegbar*, Innenring und Außenring können getrennt eingebaut werden. Da Kegelrollenlager axiale Kräfte nur in einer Richtung aufnehmen, ist normalerweise ein zweites, spiegelbildlich angeordnetes Kegelrollenlager zur *Gegenführung* erforderlich. In dieser Eigenschaft sind sie mit den Schrägkugellagern vergleichbar, bei höherer Tragfähigkeit, jedoch geringerer *Drehzahleignung*.

Normen

Kegelrollenlager in metrischen Abmessungen DIN 720 und DIN ISO 355.

Toleranzen, Lagerluft

Kegelrollenlager der Grundaufbau werden mit Normaltoleranz PN geliefert. Lager der Reihen 320X, 329, 330, 331 und 332 bis Bohrung 200 mm haben die eingengte Breiten-toleranz nach P6X (ohne Nachsetzzeichen). Größere Lager dieser Reihen und Lager der anderen Reihen haben die Breiten-toleranzen der *Toleranzklasse* PN.

Kegelrollenlager sind auf Anfrage auch mit erhöhter Genauigkeit lieferbar.

Bei der Montage zweier spiegelbildlich angeordneter Kegelrollenlager wird ein Lagerring auf seinem Sitz so weit verschoben, bis die Lagerung die gewünschte *Axialluft* oder axiale Vorspannung hat.

Druckwinkel

Wegen ihres *Druckwinkels* ($\alpha_0 = 5...28^\circ$) können Kegelrollenlager neben Radialkräften auch Axialkräfte aufnehmen. Größere Druckwinkel und damit eine höhere axiale Belastbarkeit haben Lager der Reihe 323B (im Vergleich zur Normalausführung 323 und 323A) und besonders Lager der Reihe 313.

Käfige

FAG Kegelrollenlager haben, bis auf die Integral-Kegelrollenlager (Seite 42), gepresste *Käfige* aus Stahlblech, für die kein Nachsetzzeichen verwendet wird. Weil die Käfige seitlich etwas vorstehen, müssen die Einbaumaße beachtet werden.

Winkleinstellbarkeit

Die modifizierte Linienberührung zwischen Kegelrollen und Laufbahnen (logarithmisches Profil) verhindert Kanten-spannungen und ermöglicht die *Winkleinstellbarkeit* der Kegelrollenlager. Für einreihige Kegelrollenlager ist bei einem Belastungsverhältnis $P/C \leq 0,2$ ein Einstellwinkel von bis zu 4 Winkelminuten zulässig. Bei größeren Belastungen oder Verkippen bitte bei FAG rückfragen.

P = dynamisch äquivalente Belastung [kN],

C = dynamische Tragzahl [kN].

Belastbarkeit

Radial sehr hoch und axial in einer Richtung hoch.

Drehzahleignung

Mittel bis hoch. Bei *zusammengepassten Lagern* werden etwa 20 % niedrigere Drehzahlen erreicht als bei Einzellagern.

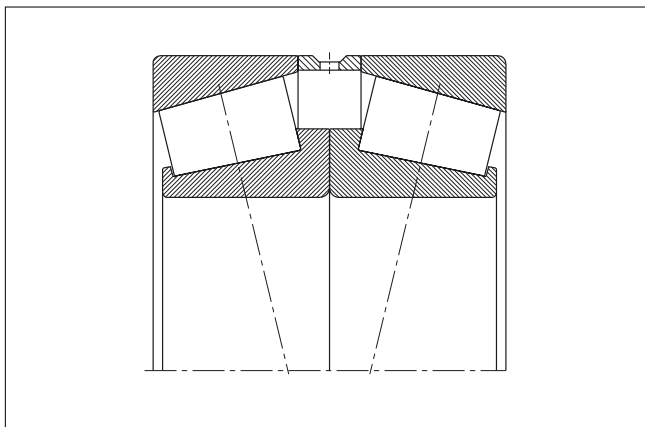
Zollabmessungen

Kegelrollenlager in metrischen Abmessungen sollten bei Neukonstruktionen bevorzugt werden. Außer den metrischen Lagern liefert FAG auch Kegelrollenlager in Zollabmessungen.

Temperatur-Einsatzgrenze

FAG Kegelrollenlager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 120 °C eingesetzt werden können. Lager mit Außendurchmesser $D > 90$ mm sind bis 150 °C, solche mit $D > 120$ mm bis 200 °C maßstabil.

Kegelrollenlager



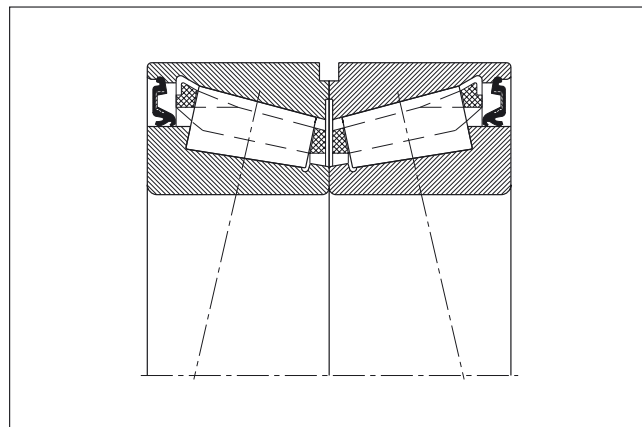
Ausführung N11CA

Zusammengepasste Lager

Mit Nachsetzzeichen N11CA (früher K11) werden zusammengepasste Kegelrollenlagerpaare geliefert, die eine festgelegte Axialluft haben. Die Axialluft ergibt sich durch einen abgestimmten Abstandsring zwischen den Außenringen.

Bestellbeispiel: 2 Stück 31306A.A50.90.N11CA

Der Abstandsring gehört zum Lieferumfang. A50.90 bedeutet Axialluft des nicht eingebauten Lagerpaars zwischen 50 und 90 μm .

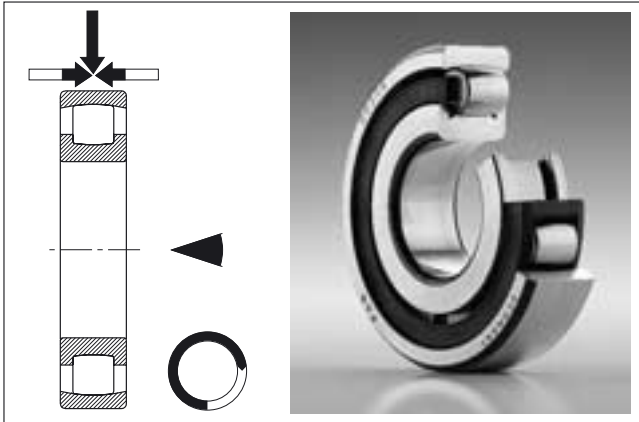


Reihe JK0S

Integral-Kegelrollenlager

Kegelrollenlager der Reihe JK0S sind selbsthaltend, abgedichtet und gefettet (Temperatur-Einsatzgrenze für abgedichtete Lager beachten). Sie sind vorwiegend für den paarweisen Einbau in *O-Anordnung* gedacht. Die *Axialluft* braucht nicht eingestellt zu werden. Die Lager haben *Käfige* aus glasfaserverstärktem *Polyamid* (ohne Nachsetzzeichen).

Tonnenlager



Reihen 202, 203

Das FAG Tonnenlager ist ein einreihiges, *winkeleinstellbares Rollenlager*. Es eignet sich besonders für Konstruktionen, bei denen eine hohe radiale Tragfähigkeit und der Ausgleich von Fluchtfehlern gefordert wird. Die robuste Konstruktion hat sich vor allem in Fällen bewährt, in denen die Radialkräfte stoßartig auftreten. Dagegen ist die axiale Tragfähigkeit der Tonnenlager gering. Die Lager sind nicht *zerlegbar*.

Normen

Tonnenlager DIN 635-1

Toleranzen, Lagerluft

Die Tonnenlager der Grundauführung werden mit Normaltoleranz gefertigt. Lager mit zylindrischer Bohrung haben die Luftgruppe "normal" (ohne Nachsetzzeichen), Lager mit kegelförmiger Bohrung vergrößerte *Radialluft* (Nachsetzzeichen C3).

Druckwinkel

$\alpha_0 = 0^\circ$.

Käfige

Tonnenlager haben *Massiv-Fensterkäfige* aus glasfaserverstärktem *Polyamid 66* (Nachsetzzeichen T) oder am Innenring geführte Messing-*Massivkäfige* (Nachsetzzeichen MB).

Kegelige Bohrung

Tonnenlager mit kegelförmiger Bohrung (Kegel 1:12) befestigt man direkt auf einem kegelförmigen Wellensitz oder mit einer Spannhülse auf einem zylindrischen Wellensitz.

Winkeleinstellbarkeit

Bei normalen Belastungen und drehendem Innenring können FAG Tonnenlager um 4° aus der Mittellage geschwenkt werden.

Belastbarkeit

Radial sehr hoch, axial gering.

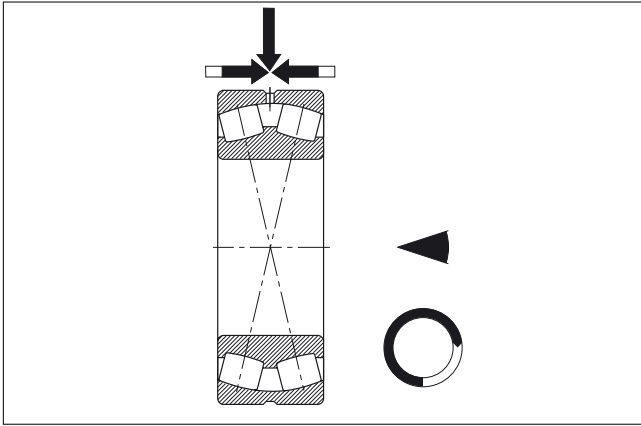
Drehzahleignung

Niedrig bis mittel.

Temperatur-Einsatzgrenze

FAG Tonnenlager sind so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150°C eingesetzt werden können. Lager mit mehr als 120 mm Außendurchmesser sind bis 200°C maßstabstabil. Bei Lagern mit Polyamidkäfig ist dessen Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.

Pendelrollenlager



Reihen 222, 223, 230, 231, 232, 233, 239, 240, 241

Das FAG Pendelrollenlager ist ein Lager für schwerste Beanspruchungen. Es enthält zwei Reihen symmetrischer Tonnenrollen, die sich in der hohlkugeligem Laufbahn des Außenrings zwanglos einstellen. Dadurch werden Fluchtfehler der Lagerstellen und Wellendurchbiegungen ausgeglichen.

FAG Pendelrollenlager enthalten eine Höchstzahl von Rollen mit großem Durchmesser und großer Länge. Durch die enge *Schmiegun*g zwischen den Rollen und Laufbahnen werden eine gleichmäßige Spannungsverteilung und eine hohe Tragfähigkeit erzielt.

Bis zum Außendurchmesser 320 mm sind die meisten FAG Pendelrollenlager in der verstärkten E-Konstruktion ausgeführt. Diese haben im Unterschied zu den übrigen Pendelrollenlagern keinen Mittelbord am Innenring und deshalb längere Tonnenrollen. Dies führt zu höheren *Tragzahlen*. Für besonders schwere Betriebsbedingungen, z. B. schwingende Beanspruchung, liefert FAG Spezial-Pendelrollenlager (Nachsetzzeichen T41A) mit eingegengten *Maßtoleranzen* und vergrößerter *Radialluft* (siehe auch Publ.-Nr. WL 21 100).

Beispiele: 22322ED.T41A
22332A.MA.T41A

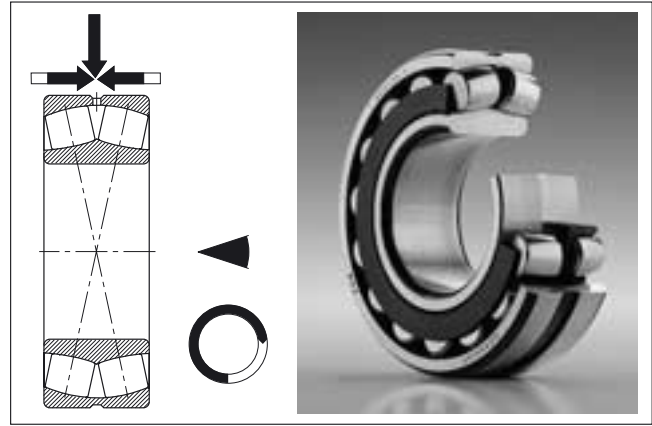
Eine weitere Spezialausführung mit zunehmender Verwendung sind die geteilten Pendelrollenlager. Bei ihnen sind Innenring, Außenring und Rollenkranz in 2 Hälften geteilt, wodurch die Montage, vor allem beim Lageraustausch, erleichtert wird (vgl. Publ.-Nr. WL 43 165).

Normen

Pendelrollenlager DIN 635 Teil 2

Toleranzen, Lagerluft

Pendelrollenlager der Grundausführung werden mit *Normaltoleranzen* und normaler *Radialluft* gefertigt. Um unterschiedliche Betriebs- und Einbaubedingungen zu berücksichtigen, sind auch Lager mit vergrößerter *Radialluft* (C3 und C4) lieferbar.



E-Ausführung (213E, 222E, 223E, 230E, 231E, 240E, 241E)

Druckwinkel

$\alpha_0 = 6...15^\circ$.

Kegelige Bohrung

Neben Pendelrollenlagern mit zylindrischer Bohrung gibt es zwei Ausführungen mit kegeliger Bohrung:

Kegel 1:12 (Nachsetzzeichen K) für normal breite Reihen

Kegel 1:30 (Nachsetzzeichen K30) für die breiten Reihen 240 und 241

Kegel 1:12 bedeutet, dass sich auf einer Länge von 12 mm die Bohrung um 1 mm erweitert, bei Kegel 1:30 auf einer Länge von 30 mm.

Pendelrollenlager mit kegeliger Bohrung befestigt man vorwiegend mit Spann- und Abziehhülsen auf der Welle (siehe Katalog WL 41 520). Beim Einbau dieser Lager vermindert sich ihre *Radialluft*.

Temperatur-Einsatzgrenze

Pendelrollenlager sind normalerweise so wärmebehandelt, dass sie bis zu einer Betriebstemperatur von 200 °C (S1) eingesetzt werden können. Bei Lagern mit *Polyamidkäfig* ist dessen Temperatur-Einsatzgrenze zu beachten.

Winkeleinstellbarkeit

Pendelrollenlager können bei normalen Betriebsverhältnissen und drehendem Innenring zum Ausgleich von Fluchtfehlern um 0,5° aus der Mittellage geschwenkt werden. Bei niedriger Belastung können Schwenkwinkel bis zu 2° zugelassen werden, wenn es die Umgebungsstruktur ermöglicht.

Belastbarkeit

Radial sehr hoch, axial gut.

Drehzahleignung

Niedrig bis mittel.

Pendelrollenlager

Käfige

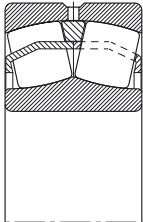
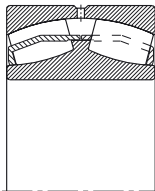
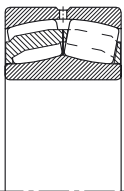
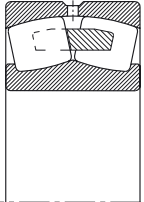
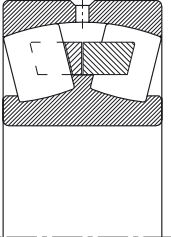
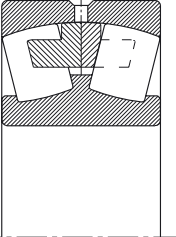
Pendelrollenlager der Reihen 222E und 223E haben Stahl-*blechkäfige*, die am Außenring geführt werden (ohne Käfig-Nachsetzzeichen). Alle Käfigteile sind oberflächengehärtet bei den Lagern der Reihe 223E in der Grundauführung wie in der Ausführung T41A (Führungsringe einiger Lager mit Nickel beschichtet). Bei anderen Lagern der E-Konstruktion werden

Käfige aus glasfaserverstärktem *Polyamid 66* (Nachsetzzeichen TVPB) oder *Massivkäfige* aus Messing (Nachsetzzeichen M) verwendet.

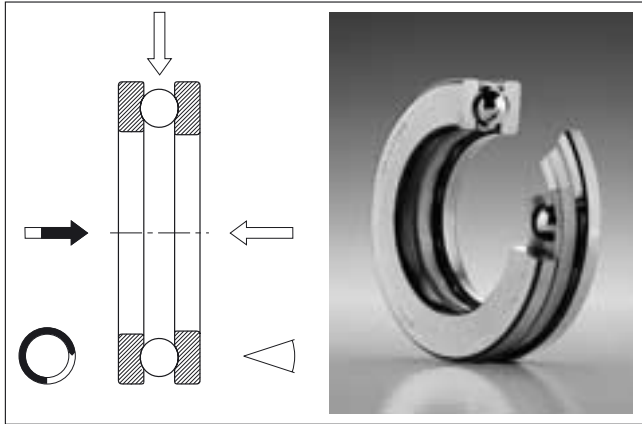
Pendelrollenlager mit festem Mittelbord am Innenring haben *Massivkäfige* oder *Blechkäfige* aus Messing. Die Lager mit Blechkäfigen haben kein Käfig-Nachsetzzeichen. Die Massivkäfige werden am Innenring (MB) geführt, bei Lagern der Ausführung T41A am Außenring (MA).

Die Übersicht zeigt die Zuordnung der Standardkäfige zu den Reihen (Ausführungen) und Größen der FAG Pendelrollenlager.

Standardkäfige der FAG Pendelrollenlager

Reihe (Ausführung)	Blechkäfige aus Stahl		Massivkäfige aus Polyamid		Massivkäfige aus Messing	
	Führung am Außenring	Führung am Innenring	Führung am Innenring	rollengeführt	Führung am Innenring	Führung am Außenring
						
Käfig-Nachsetzzeichen	–	–	TVPB	M	MB	MA
	Bohrungskennzahl					
213E			bis 22			
222					ab 38	
222E	bis 36					
223					ab 32	
223A (T41A)						ab 32
223E	bis 30					
223E (T41A)	bis 30					
230					ab 44	
230E			bis 40			
230EA				bis 40		
231					ab 40	
231E			bis 38			
231EA				bis 38		
232					ab 38	
232E			bis 36			
232EA				bis 36		
233A (T41A)						ab 20
239					ab 36	
240					ab 24	
240E			bis 32			
241		bis 88			ab 92	
241E			bis 28			

Axial-Rillenkugellager



einseitig wirkend
Reihen 511, 512, 513, 514, 532, 533

Axial-Rillenkugellager werden bei rein axialer Belastung eingesetzt. Die einseitig wirkende (= einreihige) Ausführung ist für Belastung aus einer Richtung, die zweiseitig wirkende (= zweireihige) für Belastung aus wechselnder Richtung vorgesehen. Neben den Ausführungen mit ebenen Scheiben gibt es die einstellbaren Ausführungen mit kugeligen Gehäuse- und Unterlagscheiben.

Normen

Einseitig wirkende Axial-Rillenkugellager	DIN 711
Zweiseitig wirkende Axial-Rillenkugellager	DIN 715
Unterlagscheiben für Axial-Rillenkugellager	DIN 711

Toleranzen

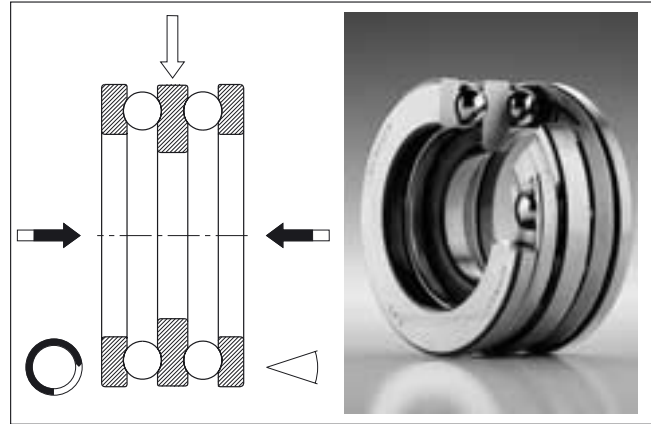
Axial-Rillenkugellager der Grundauführung werden mit Normaltoleranzen gefertigt. In der Reihe 511 liefert FAG auch Lager mit eingegängten Toleranzen (Nachsetzzeichen P6 und P5).

Käfige

Die kleineren Lager haben gepresste Stahlblechkäfige (ohne Käfig-Nachsetzzeichen), die größeren haben kugelgeführte Massiv-Fensterkäfige aus Stahl oder Messing (Nachsetzzeichen FP oder MP) oder kugelgeführte Massivkäfige aus Messing (Nachsetzzeichen M).

Axiale Mindestbelastung

Bei hohen Drehzahlen werden die Abrollverhältnisse durch die Massenkräfte der Kugeln gestört, wenn die Axiallast einen Mindestwert unterschreitet. Mindest-Axialbelastung F_{amin} siehe Katalog WL 41 520. Falls die äußere Axialbelastung zu klein ist, spannt man das Lager z. B. mit Federn vor.



zweiseitig wirkend
Reihen 522, 523, 542, 543

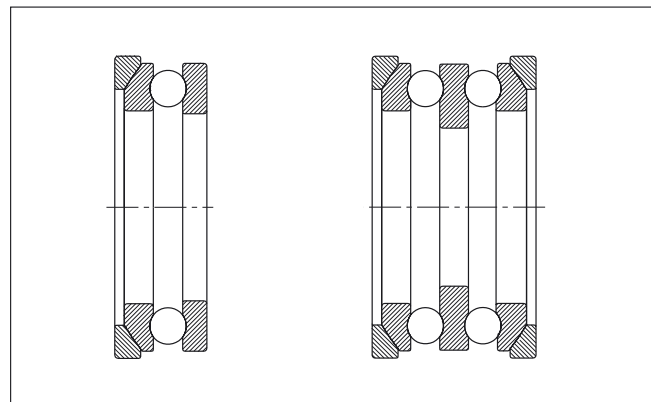
Druckwinkel

$$\alpha_0 = 90^\circ$$

Winkeleinstellbarkeit

Keine, d. h., die Auflageflächen der Lagerscheiben müssen parallel sein. Winkelfehler kann man mit kugeligen Gehäuse- und Unterlagscheiben ausgleichen.

einseitig wirkend mit Unterlagscheibe	zweiseitig wirkend mit Unterlagscheiben
532.. + U2..	542.. + U2..
533.. + U3..	543.. + U3..



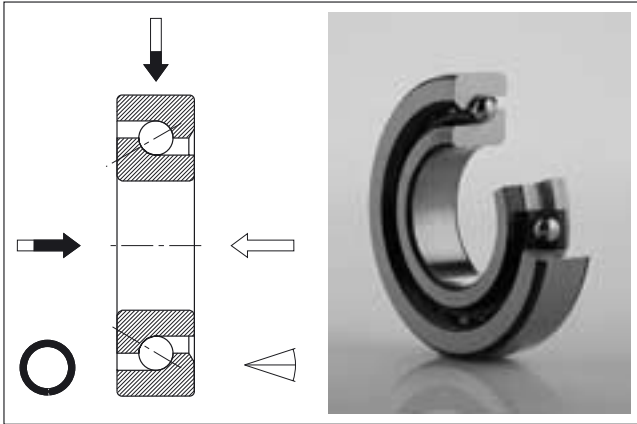
Belastbarkeit

Radial keine, axial hoch.

Drehzahlleignung

Mittel.

Axial-Schrägkugellager



einseitig wirkend
Reihen 7602, 7603

Einseitig wirkende Axial-Schrägkugellager sind *Genauigkeitslager* für Werkzeugmaschinen. Die Lager zeichnen sich aus durch große Starrheit, geringe Reibung und Eignung für hohe Drehzahlen bei schnellen Positionsänderungen. Sie sind nicht zerlegbar. Wie alle Schrägkugellager kann man sie nur in einer Richtung axial belasten.

Toleranzen

Maßtoleranzen (Durchmesser): Toleranzklasse P4 für Radiallager
Lauftoleranzen (Planlauf): Toleranzklasse P4 für Axiallager

Vorspannung, Steifigkeit

Einseitig wirkende Axial-Schrägkugellager baut man vorzugsweise in Paaren oder Gruppen ein. Die *Lagerringe* sind in der Breite so abgestimmt, dass Lager gleicher Größe unmittelbar zu Paaren oder Gruppen zusammengespannt werden können, die bei *X-* oder *O-Anordnung* eine definierte Vorspannung haben. Durch Aneinanderreihen mehrerer Lager erhöhen sich Vorspannung und Steifigkeit.

Käfig

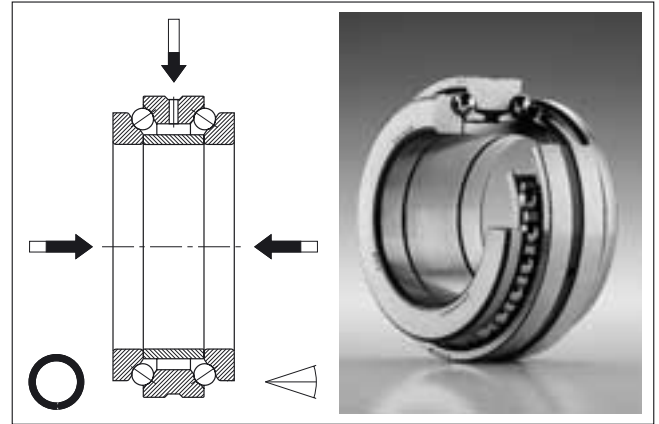
Der kugelgeführte Massiv-Fensterkäfig aus glasfaserverstärktem *Polyamid* (Nachsetzzeichen TVP) ermöglicht es, eine große Anzahl Kugeln einzubauen.

Schmierung, Drehzahleignung

Einseitig wirkende Axial-Schrägkugellager werden meist mit Fett geschmiert. Bei Einbau in Dreier- oder Vierergruppen müssen die mit Lagerpaaren erreichbaren Drehzahlen reduziert werden.

Druckwinkel, Belastbarkeit

Druckwinkel $\alpha_0 = 60^\circ$, dadurch hohe axiale Belastbarkeit. Zusätzlich ist auch radiale Belastung möglich.



zweiseitig wirkend
Reihen 2344, 2347

Zweiseitig wirkende Axial-Schrägkugellager werden vor allem zusammen mit zweireihigen Zylinderrollenlagern der Reihe NN30ASK in Präzisionsspindeln von Werkzeugmaschinen eingesetzt. Lager der Reihe 2347 baut man auf der großen Bohrungsseite, Lager der Reihe 2344 auf der kleinen Bohrungsseite des Zylinderrollenlagers ein. Zweiseitig wirkende Axial-Schrägkugellager sind zerlegbar; ihre Einzelteile sind nicht austauschbar mit denen gleich großer Lager.

Toleranzen, Vorspannung

Zweiseitig wirkende Axial-Schrägkugellager haben dasselbe Nennmaß für den Außendurchmesser wie Zylinderrollenlager NN30ASK. Die *Toleranz* des Außendurchmessers ist jedoch so festgelegt, dass sich *Passungsspiel* ergibt, wenn die Sitzstellen des Axial-Schrägkugellagers und des Zylinderrollenlagers gemeinsam bearbeitet werden. Axial-Schrägkugellager werden in der *Toleranzklasse* SP gefertigt. Toleranzklasse UP auf Anfrage. Die Vorspannung wird durch den Abstandsring zwischen den beiden Wellenscheiben bestimmt.

Druckwinkel, Käfig

Durch den *Druckwinkel* von 60° ergeben sich hohe axiale Steifigkeit und Tragfähigkeit. Der Massivkäfig aus Messing ist für hohe Drehzahlen ausgelegt. Jede Kugelreihe hat ihren eigenen rollkörpergeführten *Käfig* (Nachsetzzeichen M).

Winkleinstellbarkeit

Keine, d. h., die Anlageflächen der Lagerscheiben müssen parallel sein.

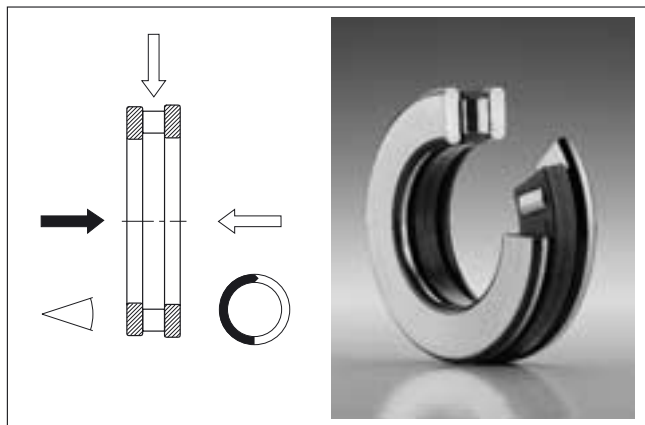
Belastbarkeit

Axial gut, radial gering.

Drehzahleignung

Sehr hoch.

Axial-Zylinderrollenlager



einseitig wirkend
Reihen 811, 812

FAG Axial-Zylinderrollenlager bilden starre, sehr tragfähige und stoßunempfindliche Lagerungen. Die Lager nehmen in einer Richtung sehr hohe Axialkräfte auf, jedoch keine Radialkräfte. Sie sind nicht *winkeleinstellbar*.

Axial-Zylinderrollenlager lassen sich zerlegen in Axial-Zylinderrollenkranz, Wellenscheibe und Gehäusescheibe.

Normen

Axial-Zylinderrollenlager DIN 722.

Druckwinkel

$\alpha_0 = 90^\circ$.

Käfige

FAG Axial-Zylinderrollenlager haben *Massivkäfige* aus glasfaserverstärktem *Polyamid* (TVPB), Leichtmetall (LPB) oder Messing (MPB, MB). Der Käfig wird auf der Welle geführt.

Winkeleinstellbarkeit

Keine, d. h., die Anlageflächen der Lagerscheiben müssen parallel sein.

Axiale Mindestbelastung

Damit zwischen Rollen und Lagerscheiben kein Schlupf entsteht, muss das Axial-Zylinderrollenlager immer axial belastet sein (siehe Katalog WL 41 520). Ist die äußere Belastung zu klein, spannt man das Lager z. B. mit Federn vor.

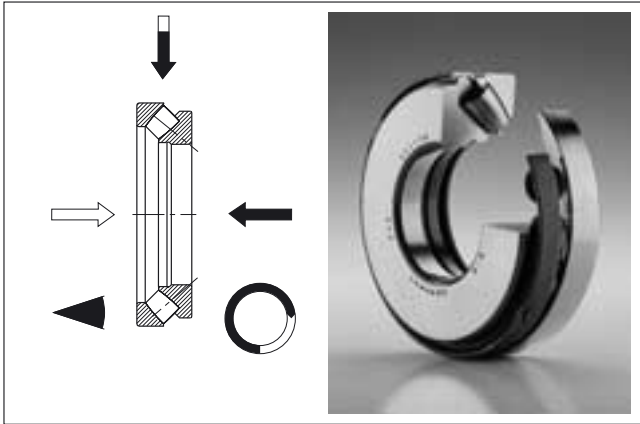
Belastbarkeit

Axial sehr hoch, radial keine.

Drehzahleignung

Niedrig.

Axial-Pendelrollenlager



Reihen 292E, 293E, 294E

Axial-Pendelrollenlager nehmen große Axialkräfte auf. Sie eignen sich für relativ hohe Drehzahlen. Wegen der zur Lagerachse geneigten Laufbahn sind die Lager auch radial belastbar. Die Radialkraft darf höchstens 55 % der Axialkraft sein.

Die Lager haben unsymmetrische Tonnenrollen und gleichen Winkelfehler aus. In der Regel müssen Axial-Pendelrollenlager mit Öl geschmiert werden.

FAG liefert Axial-Pendelrollenlager in verstärkter Ausführung (Nachsetzzeichen E). Die Lager sind für höchste Tragfähigkeit ausgelegt.

Normen

Axial-Pendelrollenlager ISO 104 und DIN 728

Toleranzen

Axial-Pendelrollenlager werden mit Normaltoleranzen gefertigt.

Druckwinkel

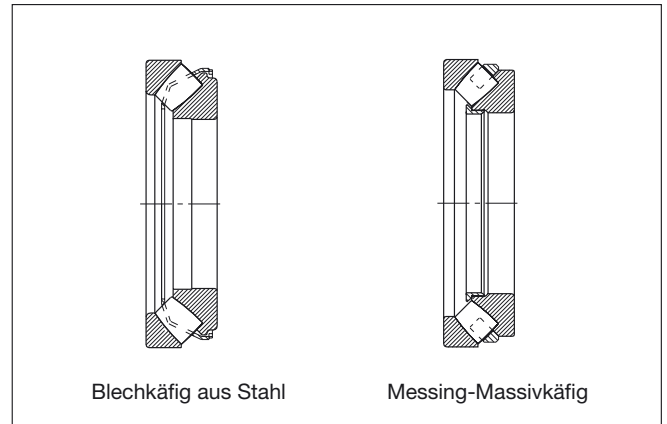
$\alpha_0 = 50^\circ$.

Käfige

Axial-Pendelrollenlager haben Käfige aus Stahlblech (ohne Nachsetzzeichen) oder Messing-Massivkäfige (Nachsetzzeichen MB). Der Käfig hält den Rollensatz mit der Wellenscheibe zusammen.

Winkeleinstellbarkeit

Wegen der hohlkugeligen Laufbahn der Gehäusescheibe sind Axial-Pendelrollenlager *winkeleinstellbar* und damit unempfindlich gegen Fluchtfehler und Wellendurchbiegungen.



Solange P oder $P_0 \leq 0,05 \cdot C_0$ [kN] ist, sind die in der Tafel angegebenen Einstellwinkel zulässig, wenn – wie üblich – die Wellenscheibe umläuft und die Winkelabweichung konstant ist.

Einstellwinkel in Grad

Lagerreihe	Einstellwinkel
292E	1 ... 1,5°
293E	1,5 ... 2,5°
294E	2 ... 3°

Die kleineren Werte gelten für größere Lager.

Über die Winkeleinstellbarkeit bei umlaufender Gehäusescheibe oder bei Taumelbewegungen der Welle (dynamischer Winkelfehler) informiert Sie unser technischer Beratungsdienst.

Axiale Mindestbelastung

Bei hohen Drehzahlen werden die Abrollverhältnisse durch die Massenkräfte der Rollen gestört, wenn die Axialbelastung einen Mindestwert unterschreitet.

Mindest-Axialbelastung F_{amin} siehe Katalog WL 41 520.

Wenn die äußere Last und das Gewicht der gelagerten Maschinenteile geringer sind als die Mindestbelastung, müssen die Lager, z. B. durch Federn, vorgespannt werden.

Wirkt zusätzlich zur Axialkraft eine Radialkraft, dann muss die Bedingung $F_r \leq 0,55 \cdot F_a$ eingehalten werden.

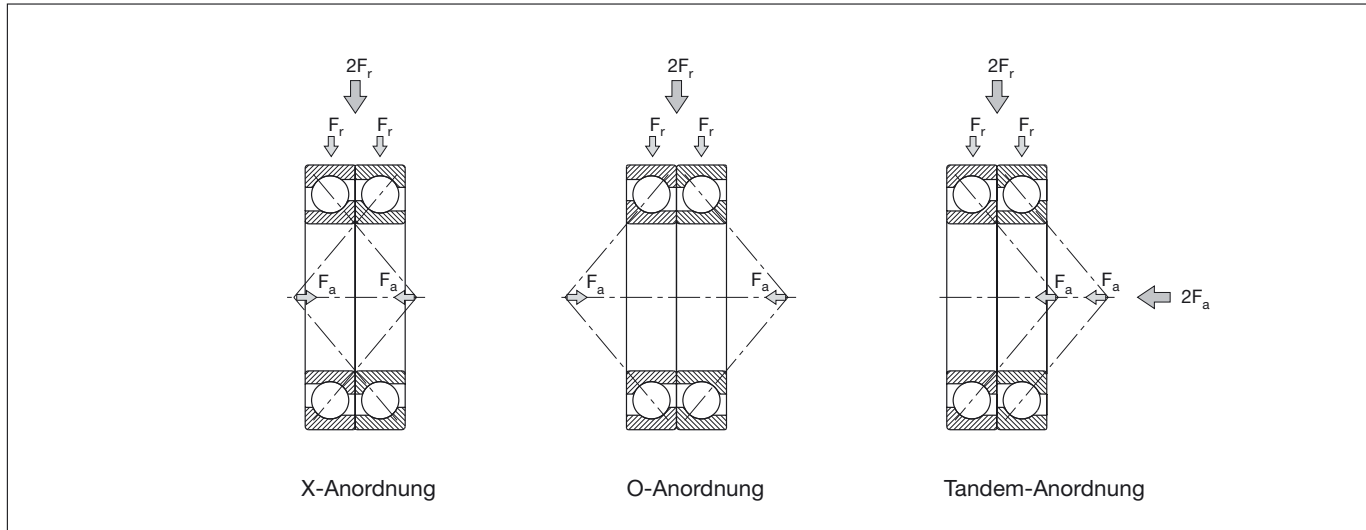
Belastbarkeit

Axial sehr hoch, radial mittel.

Drehzahleignung

Mittel bis hoch.

Zusammengepasste Wälzlager



Reicht die Tragfähigkeit eines einzelnen Lagers nicht aus, so können mehrere Lager nebeneinander eingebaut werden. In diesem Fall müssen die Lager aufeinander abgestimmt sein, damit man eine möglichst gleichmäßige Lastverteilung und eine bestimmte Luft im Lagersatz erreicht.

Wälzlager werden deshalb innerhalb enger *Toleranzen* nach technischen Spezifikationen zusammengepasst. Ein Beispiel sind zusammengepasste Kegelrollenlager der Ausführung N11CA (vgl. auch Seite 42).

Spindellager sind auch als einbaufertige Sätze lieferbar, vgl. Katalog WL 41 520 und Publ.-Nr. AC 41 130.

Darüber hinaus werden Schrägkugellager, vor allem Spindellager, die für paarweisen oder satzweisen Einbau in *X*-, *O*-

oder *Tandem-Anordnung* (siehe Schema oben) bestimmt sind, auch in **Universalausführung** gefertigt. Bei Universallagern sind die Lagerseitenflächen zu den Laufbahnen so abgestimmt, dass die Lagerpaare vor dem Einbau in *X*- oder *O*-Anordnung oder einer Kombination von *X*- oder *O*- und *Tandem-Anordnung* eine bestimmte *Axialluft*, Spielfreiheit oder Vorspannung haben. Beim Einbau mit festen *Passungen* vermindert sich die Axialluft bzw. erhöht sich die Vorspannung gegenüber nicht eingebauten Lagerpaaren.

Bedeutung der Nachsetzzeichen

- UA Universalausführung, geringe Axialluft
- UO Universalausführung, spielfrei
- UL Universalausführung, leichte Vorspannung
- UM Universalausführung, mittlere Vorspannung

Lagereinheiten

Lagereinheiten

Zur kompletten Lagerung gehören außer dem Wälzlager die *Dichtung* und die *Schmierung*. Wälzlager, bei denen diese Elemente integriert sind, bezeichnet man als Baueinheiten. Dies sind wirtschaftliche Lagerausführungen, weil in der Regel während der gesamten *Lebensdauer* keine Wartung erforderlich ist. Besonders verbreitet sind Rillenkugellager mit Dicht- oder Deckscheiben. In abgedichteter Ausführung liefert FAG z. B. auch Schrägkugellager, Spindellager, Pendelkugellager, zweireihige vollrollige Zylinderrollenlager und Kegelrollenlager JK0S.

Neben der Dichtung können auch andere an das Wälzlager angrenzende Bauteile in die Baueinheit einbezogen sein. Dies sind z. B. Spannelemente, mit denen die Innenringe von Spannlagern auf der Welle fixiert werden. Die dickwandigen zylindrischen oder balligen Außenringe von Laufrollen können direkt auf Bahnen ablaufen. Ganz oder teilweise einbezogen ist die Funktion des Gehäuses bei Radlagereinheiten für Kraftfahrzeuge, Radsatzlager-Baueinheiten für Schienenfahrzeuge, Stehlagereinheiten VRE für Ventilatoren, Flanschlagereinheiten für elektrische Maschinen und Tretlagereinheiten für Fahrräder (siehe auch Abschnitt "FAG-Branchenprogramme" im Katalog WL 41 520).

Spannlagereinheiten

Bei starkem Schmutz, Wellendurchbiegungen und Fluchtfehlern, z. B. in Landmaschinen, Förderanlagen und Baumaschinen, werden Spannlagereinheiten (S-Lagereinheiten) eingesetzt.

Die abgedichteten Rillenkugellager sind wartungsfrei. Sie haben kugelige Außendurchmesser und sind durch Einbau in ein ebenfalls kugeliges Gehäuse winkelbeweglich. Der Innenring wird bei den Reihen 162 und 362 mit Exzenterring, bei der Reihe 562 mit Gewindestiften auf der Welle befestigt. Bei der Reihe 762.2RSR erfolgt die Befestigung durch die *Passung* auf der Welle. Lager der Reihe 962K mit Spannhülsenbefestigung sind ebenfalls lieferbar.

S-Lagergehäuse sind als Stehlagergehäuse, als Flanschlageregehäuse oder als Spannkopflagergehäuse ausgeführt und können aus Grauguss oder aus Stahlblech bestehen. Die Graugussgehäuse eignen sich für höhere Belastungen als die preisgünstigeren Stahlblechgehäuse.

Weitere Informationen siehe Katalog WL 41 520 und Publ.-Nr. WL 90 115.

S-Lagereinheiten, S-Lager und Gehäuse



Lagereinheiten

Rillenkugellager mit integriertem Sensor

FAG Rillenkugellager mit integriertem Drehzahlsensor ermöglichen eine präzise und kostengünstige Drehzahlmessung auf engem Raum. Die aufgenommenen Signale werden über Kabel zum Beispiel an einen Frequenzumrichter gesendet. Teure Drehgeberkonstruktionen werden überflüssig in Elektromaschinen, mobilen und stationären Getrieben, Fördermaschinen sowie Textil- und Verpackungsmaschinen.

Die Sensorlager basieren auf Standard-Rillenkugellagern der Maßreihe 62, sind jedoch um 8 mm breiter. Abgedichtete Sensorlager sind wartungsfrei. Die Leistungsdaten entsprechen denen der Standardlager.

Weitere Informationen siehe TI Nr. WL 43-1206.

Drehzahlsensorlager



Hubmastführungsrollen

Hubmastführungsrollen übertragen die Längs- und Querkräfte des Gabelschlittens auf den Hubmast von Gabelstaplern. Sie haben dickwandige Außenringe, mit denen die Rollen direkt auf den Bahnen ablaufen. Die Hubmastführungsrolle ist beidseitig abgedichtet und for-life geschmiert.

Hubmastführungsrollen



Stehlagereinheiten VRE3

Die ursprünglich für den Ventilatorenbau entwickelten Einheiten werden vorteilhaft eingesetzt, wenn eine präzise und leicht montierbare Lagerung gefordert ist, z. B. auch in Fördereinrichtungen, Prüfständen, Textilmaschinen, Zuführeinrichtungen.








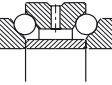







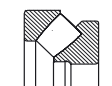



In einem ungeteilten Gehäuse sind zwei Lagerstellen untergebracht. Je nach Beanspruchung stehen sechs Lagerungsvarianten zur Verfügung. Die komplett montierten Einheiten sind mit Rillenkugellagern, Zylinderrollenlagern oder *zusammengepassten* Schrägkugellagern ausgerüstet.

Weitere Informationen siehe Publ.-Nr. WL 90 121 "FAG Lagereinheiten für Ventilatoren Reihe VRE3".

Stehlagereinheit VRE3



Checkliste für die Wälzlagerbestimmung

Abmessungen [mm]	Bohrung d = _____	Außendurchmesser D = _____	Breite B = _____
	Weitere Abmessungen _____		
Wälzlagerbauart	<input type="checkbox"/> einreihig <input type="checkbox"/> zweireihig <input type="checkbox"/> mehrreihig (Anzahl)		
	<input type="checkbox"/> mit Käfig <input type="checkbox"/> ohne Käfig		
	Radiallager		Axiallager
	Kugellager	     	 
		Rillenkugellager Schrägkugellager Vierpunkt-lager Pendel-kugellager einreihig zweireihig einreihig zweireihig	Axial-Rillen-kugellager Axial-Schräg-kugellager
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
Rollenlager	     	 	
	Zylinderrollenlager Nadellager Kegel- rollenlager Tonnen-lager Pendel- rollenlager einreihig zweireihig	Axial-Zylinder-rollenlager Axial-Pendel-rollenlager	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Andere Bauarten			
Käfigwerkstoff	Blechkäfig	Massivkäfig	
	<input type="checkbox"/> Stahl	<input type="checkbox"/> Stahl	<input type="checkbox"/> Polyamid
	<input type="checkbox"/> Messing	<input type="checkbox"/> Messing	<input type="checkbox"/> Hartgewebe
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Leichtmetall	<input type="checkbox"/>	
Käfigführung	 <input type="checkbox"/> am Wälzkörper	 <input type="checkbox"/> am Außenring	 <input type="checkbox"/> am Innenring
	<input type="checkbox"/> am Wälzkörper <input type="checkbox"/> am Außenring <input type="checkbox"/> am Innenring		
Besondere Merkmale	<input type="checkbox"/> Dichtscheibe <input type="checkbox"/> einseitig <input type="checkbox"/> beidseitig		
	<input type="checkbox"/> Deckscheibe <input type="checkbox"/> einseitig <input type="checkbox"/> beidseitig		
	<input type="checkbox"/> Zylindrische Bohrung <input type="checkbox"/> Kegelige Bohrung		
	<input type="checkbox"/> Ringnut für Sprengling		
	<input type="checkbox"/> Schmiernut mit Schmierbohrungen <input type="checkbox"/> am Außenring <input type="checkbox"/> am Innenring		
<input type="checkbox"/> Andere Merkmale (z. B. balliger Außenring)			
Stempelung	Hersteller _____	Ursprungsland _____	Nummer _____

Betriebsbedingungen	Einbaustelle _____	_____	
	Drehzahl min ⁻¹ _____	_____	
	Temperatur °C _____	_____	
	Schmierung	<input type="checkbox"/> Fett <input type="checkbox"/> Ölsumpf <input type="checkbox"/> Ölumlauf <input type="checkbox"/> Öl-Minimalmengen	
<input type="checkbox"/> sonstige Schmierarten _____			
<input type="checkbox"/> Schmiermittelbezeichnung _____			

Sachverzeichnis

Abdichtung → *Dichtungen*

Additive 7, 9, 14, 17, 19

Alterung 17

Angestellte Lagerung/Anstellen 31

Arcanol (FAG Wälzlagerfette) 17, 18

Axiallager 4, 8, 9, 10, 26, 32

Axialluft 24

Axial-Pendelrollenlager 49

Axial-Rillenkugellager 46

Axial-Schräggkugellager 47

Axial-Zylinderrollenlager 48

Basisöl → *Grundöl*

Basiswert a_{23II} 13, 14, 16

Belastungskennzahl f_s 14, 16

Bestimmungsgröße K 13, 14

Betriebluft/Betriebsspiel 25

Betriebsviskosität ν 13, 17, 20

Bezugsdrehzahl 22

Bezugsviskosität ν_1 13, 17, 20

Blechkäfig 6

Dichtungen 5, 17, 21, 22, 23

Drehzahleignung 4, 7, 22

Drehzahlfaktor f_n 11

Drehzahlkennwert $n \cdot d_m$ 17, 19

Drehzahlsensorlager 52

Druckkegelspitze 4, 31

Drucklinien 4, 31

Druckwinkel 4, 8

Dynamisch äquivalente Belastung P 4, 8, 10, 11

Dynamisch beanspruchte Wälzlager 10

Dynamische Kennzahl f_L 11

Dynamische Tragzahl C 8, 11

Dynamische Viskosität 20

Eignung für hohe Temperaturen 23

Einbau und Ausbau 28

EP-Zusätze 9, 19

Ermüdungslaufzeit 9, 10, 11

Erreichbare Lebensdauer L_{na} , L_{hna} 10, 12, 16, 17

Erweiterte Lebensdauerberechnung 12

Faktor a_1 12

Faktor a_{23} (Lebensdauer-Anpassungsfaktor) 10, 11, 12, 13, 16

Festlager 29, 39

Festlager-Loslager-Anordnung 29, 30

Festschmierstoffe 17, 19

Fettgebrauchsdauer 19, 23

Fettschmierung 14, 17, 21, 22

Filterrückhalterate 15, 16

Führungsart (Käfig) 7

Gebrauchsdauer 9, 17, 21

Gegenführung 32, 41

Genauigkeitslager/Genauigkeitsausführung 26, 39, 47

Grenzdrehzahl 22

Grenzschmierung 19

Grundöl 13, 19, 20

Hubmastführungsrollen 52

Käfig 5, 6, 23

Kegelrollenlager 41

Kinematische Viskosität 17, 20

Kombinierte Belastung 8, 9, 10

Konsistenz 19

Kugellager 4, 8, 11, 25

Lagereinheiten 51

Lagerluft 22, 24, 31

Lagerringe 4, 5, 6, 8, 17, 23, 26, 28

Lastwinkel 8

Lebensdauer 10, 50

Lebensdauerexponent p 11

Lithiumseifenfette 19, 23

Loslager 4, 6, 28, 29, 39

Massivkäfig 6, 7

Mineralöle 13, 17, 19, 20

Modifizierte Lebensdauer 12

Nachschmierintervall 19

Nennviskosität 13, 20

Nominelle Lebensdauer L , L_n 8, 10, 11, 12

O-Anordnung 29, 31, 34, 36, 42, 47, 50

Ölreinheitsklasse 14, 15, 16

Ölschmierung 7, 17, 21, 22

Passungen 25, 28, 34, 49

Pendelkugellager 38

Pendellager 27

Pendelrollenlager 44

Penetration → *Konsistenz*

Polyamidkäfig 7, 34, 43, 44

Punktlast 28, 29

Radiallager 4, 8, 9, 10, 26, 29, 31

Radialluft/Radialluftgruppe 24, 28

Rillenkugellager 33

Rollenlager 4, 8, 11, 25

Rollkörper 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 23

Sauberkeitsfaktor s 13, 14, 16

Schmiegun g 8

Schmierfette 5, 13, 17, 19, 21, 23

Schmierfrist 19

Schmieröle 5, 19, 20

Sachverzeichnis

- Schmierzustände 19
- Schrägkugellager, einreihig 34
- Schrägkugellager, zweireihig 36
- Schräglager 4, 32
- Schwimmende Lagerung 31
- Spannlagereinheiten 51
- Spindellager 35
- Statisch äquivalente Belastung P_0 8, 9
- Statisch beanspruchte Wälzlager 9
- Statische Kennzahl f_s 9
- Statische Tragzahl C_0 8, 14
- Stehlagereinheit VRE 52
- Stützbasis 31
- Synthetische Schmierstoffe/Syntheseöle 19, 20

- Tandem-Anordnung 32, 34, 50
- Teilschmierung 19
- Thermisch zulässige Betriebsdrehzahl 22
- Toleranzklasse 26, 28
- Tonnenlager 43
- Tragzahl 8

- Umfangslast 28
- Universalausführung → *Zusammengepasste Wälzlager*

- Veränderliche Belastung und Drehzahl 10
- Veränderliche Betriebsbedingungen 12
- Verdicker 19, 20
- Verschleiß 9, 17, 19
- Verunreinigungskenngroße V 13, 14, 15, 16
- Vierpunktlager 37
- Viskosität 19, 20, 22
- Viskositäts-Temperatur-Verhalten (V-T-Verhalten) 13, 17, 20
- Viskositätsklassifikation 20
- Viskositätsverhältnis ν 9, 12, 14, 16, 17, 20
- Vollschmierung 19

- Walkpenetration → *Konsistenz*
- Wälzlager-Lern-System W.L.S. 2
- Winkeleinstellbarkeit 4, 27
- Wirkstoffe → *Additive*

- X-Anordnung 29, 31, 34, 47, 50
- X-life-Lösungen 11

- Zähigkeit → *Viskosität*
- Zerlegbare Lager/Zerlegbarkeit 4, 6, 28, 31
- Zusammengepasste Wälzlager 29, 32, 34, 41, 42, 50
- Zylinderrollenlager 39

Auswahl weiterer FAG-Publikationen

Die folgende Aufstellung gibt eine Auswahl aus dem Angebot an FAG-Veröffentlichungen. Weiteres Informationsmaterial auf Anfrage.

Katalog

WL 41 520 FAG Wälzlager

Publ.-Nr.

WL 00 106 W.L.S. Wälzlager-Lern-System
WL 00 200 Die Gestaltung von Wälzlagerungen
WL 04 205 Getriebe wollen Wälzlager
WL 07 150 Wälzlager für Schienenfahrzeuge
WL 13 103 Wälzlagerungen für die Papierindustrie
WL 17 104 Wälzlagerungen für Konverter
WL 17 200 Wälzlager in Walzgerüsten
WL 21 100 Spezial-Pendelrollenlager für Schwingmaschinen
WL 21 107 Robuste und langlebige Wälzlagerungen für Bergbau, Aufbereitung und Baumaschinen
WL 43 165 Geteilte FAG Pendelrollenlager
WL 43 166 Einreihige FAG Schrägkugellager
WL 43 167 The Trademark of Extreme Performance (X-life)
WL 80 100 Montage von Wälzlagern
WL 80 250 FAG Geräte und Dienstleistungen für Montage und Wartung von Wälzlagern
WL 81 115 Schmierung von Wälzlagern
WL 81 116 Arcanol · Wälzlager-getestetes Fett
WL 82 102 Wälzlerschäden
WL 90 115 FAG Spannlager · Spannlagereinheiten

TI Nr.

WL 00-11 FAG Videofilme zur Lagerungstechnik
WL 43-1191 FAG Wälzlagerkurzzeichen
WL 80-46 FAG Handpumpensätze
WL 80-47 Induktive FAG Anwärmgeräte
WL 80-48 Mechanische FAG Abziehvorrichtungen
WL 80-49 FAG Einbauwerkzeugsätze
WL 80-51 FAG Temperaturmeßgerät
WL 80-60 Wälzlagerdiagnose mit FAG-Geräten und Serviceleistung
WL 90-30 FAG Reihengehäuse
WL 95-4 FAG Wälzlagerkäfige

Notizen

FAG Industrial Bearings AG

Ein Unternehmen der FAG Kugelfischer-Gruppe

Postfach 12 60 · D-97419 Schweinfurt
Tel. (0 97 21) 91 3707 · Fax (0 97 21) 91 3133
<http://www.fag.de>

FAG Wälzlager **Grundlagen · Bauarten · Ausführungen**

Alle Angaben wurden sorgfältig erstellt und überprüft. Für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Änderungen, die dem Fortschritt dienen, behalten wir uns vor.

© by FAG 2002 · Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

TI Nr. WL 43-1190 D 95/4/02 · Printed in Germany by Weppert GmbH & Co. KG, Schweinfurt