

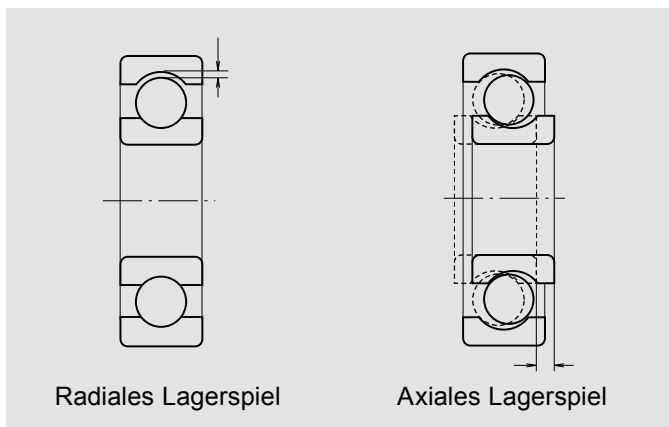
TECHNICAL INSIGHT

A PUBLICATION OF NSK EUROPE

Lagerluft – Die Lagerluft und ihre Normen

Die Lagerluft ist das Maß, um welches man die beiden Ringe eines nicht eingebauten Wälzlagers gegeneinander verschoben werden können. Dabei unterscheidet man die radiale und die axiale Lagerluft, häufig kurz Radialluft und Axialluft genannt.

Die Radialluft wird senkrecht zur Mittelachse des Lagers gemessen, die Axialluft entlang der Mittelachse. Entscheidend hierbei ist die Messung von einer Endlage zur anderen.



Die Lagerluft beeinflusst in hohem Maße die Leistungsfähigkeit von Wälzlagern im Betrieb. Hierzu gehören u. a. Lebensdauer, Vibration, Geräuschpegel und die Wärmeentwicklung.

Gemessene und geometrische Lagerluft

Um exakte Messergebnisse zu erhalten, wird die Soll-Lagerluft in der Regel durch Aufbringen einer definierten Messlast auf das Lager gemessen. Dieser Messwert ist immer etwas größer als die Soll-Lagerluft – auch geometrische Lagerluft genannt. Dieser Unterschied entspricht der Größe der elastischen Verformung, die durch die Messlast verursacht wird.

Die Soll-Lagerluft kann ermittelt werden, wenn die gemessene Luft um den Betrag der elastischen Verformung korrigiert wird. Im Fall von Rollenlagern ist die elastische Verformung gering. Hier entspricht die vor dem Einbau definierte Lagerluft der Soll-Lagerluft.

Tabellen mit den Werten zur Lagerluft abhängig von der Lagerart finden Sie im NSK Wälzlager Hauptkatalog.

Umrechnung von Radial- in Axialluft

$$\text{Axiale Lagerluft } \Delta_a = \Delta_r \cot \alpha = \frac{1,5}{e} \Delta_r$$

Δ_r : Radiale Lagerluft

α : Kontaktwinkel

e : Konstante

Einflüsse auf die Lagerluft

Abnahme der Radialluft durch Passungen

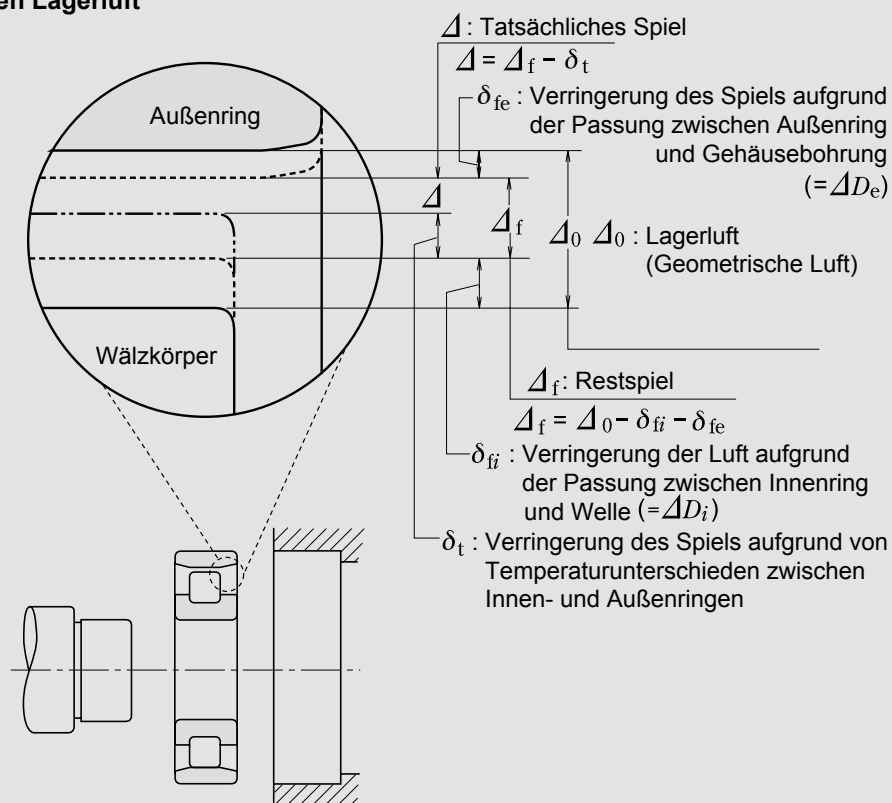
Wenn der Innenring oder Außenring fest auf der Welle oder im Gehäuse sitzt, verringert sich die Radialluft durch die Aufweitung des Innenringes oder Schrumpfung des Außenringes. Diese Verringerung verändert sich je nach Lagerart und -größe und ist von der Wellen- oder Gehäusekonstruktion abhängig. Die Reduzierung liegt bei etwa 70 bis 90 % des Übermaßes.

Das Spiel wird nach Abzug dieser Verringerungen δ_{fe} und δ_{fi} von der Soll-Lagerluft Δ_0 als Restlagerspiel Δ_f bezeichnet.

Abnahme des Radialspiels durch Temperaturunterschiede zwischen Innen- u. Außenring

Die während des Betriebs entstehende Reibungswärme wird von der Welle und dem Gehäuse nach außen geleitet. Da Gehäuse durch ihre Masse Wärme grundsätzlich besser ableiten als Wellen, liegt die Temperatur des Innenrings und der Wälzkörper normalerweise 5 bis 10 °C über der des Außenrings. Wenn die Welle erwärmt oder das Gehäuse abgekühlt wird, ist der Temperaturunterschied zwischen den Innen- und Außenringen größer. Das Radialspiel nimmt aufgrund der Wärmeausdehnung, die durch den Temperaturunterschied zwischen den Innen- und Außenringen entsteht, ab. Nach Verringerung des Restlagerspiels Δ_f um δ_t erhält man das tatsächliche Lagerspiel Δ .

Änderungen der radialen Lagerluft



Mit Hilfe der folgenden Gleichungen kann das Ausmaß dieser Verringerung berechnet werden:

$$\delta_t = \alpha \Delta_t D_e$$

δ_t : Verringerung des Radialspiels aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen den Innen- und Außenringen (mm)

α : Längenausdehnungskoeffizient von Lagerstahl = $12,5 \cdot 10^{-6}$ (1/°C)

Δ_t : Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenringen (°C)

D_e : Laufbahndurchmesser Außenring (mm)

für Kugellager

$$D_e = (4D+d)$$

für Rollenlager

$$D_e = (3D+d)$$

Zieht man die Einflüsse der Temperaturunterschiede von dem Restlagerspiel ab, erhält man das tatsächliche Lagerspiel Δ . Es sollte ein Lagerspiel von 0 oder ein leicht positiver Wert gewählt werden. Werden einreihige Schrägkugellager oder Kegelrollenlager gepaart verbaut, sollte ein minimales tatsächliches Lagerspiel vorhanden sein (außer wenn eine Vorspannung benötigt wird). Werden zwei Zylinderrollenlager mit einem Bord auf einer Seite gegenüberliegend eingesetzt, muss ein axiales Lagerspiel gewählt werden, das eine Längenausdehnung der Welle ermöglicht.

Lagerluft in speziellen Anwendungen

Betriebsbedingungen	Beispiele	Lagerspiel
Bei großer Wellenverformung	Halb schwimmende Radlagerungen in Automobilen	C5 oder ähnliches
Dampfdurchströmung von Hohlwellen oder Aufheizung von Andrückbügeln	Trockenpartien in Papiermaschinen Transportrollen in Walzwerken	C3, C4 C3
Bei starken Stoßkräften und Vibrationen oder wenn sowohl Innen- als auch Außenringe fest sitzen.	Traktionsmotoren für Eisenbahnen Schwingsiebe Flüssigkeitskupplung Getriebe für Traktoren	C4 C3, C4 C4 C4
Bei losem Sitz des Innen- und Außenrings	Walzenzapfen für Walzwerke	C2 oder ähnliches
Bei besonders leisem und vibrationsfreiem Lauf	Kleinmotoren mit besonderen Spezifikationen	C1, C2, CM
Bei eingestelltem Spiel, um Wellenverformung zu vermeiden, usw.	Hauptspindel von Drehbänken	CC9, CC1

Vorspannung – die besondere Form des negativen Lagerspiels

Normalerweise verbleibt während des Betriebs ein gewisses Lagerspiel in den Wälzlagern. In einigen Fällen ist es jedoch von Vorteil, ein negatives Lagerspiel einzustellen, um eine erhöhte Steifigkeit der Lagerung zu erhalten. Dies wird Vorspannung genannt.

Eine Vorspannung wird für Lager vorgesehen, bei denen das Spiel während des Einbaus eingestellt werden kann, z.B. bei Schrägkugellagern oder Kegelrollenlagern. Hierbei werden in der Regel zwei Lager in X- oder O-Anordnung eingebaut, um einen Zweierversatz mit Vorspannung zu erhalten.

Zweck der Vorspannung in typischen Anwendungsfällen

- › Hauptwellen von Werkzeugmaschinen, Präzisionsinstrumente
Erhalt der Lager in ihrer exakten Position - radial und axial – sowie Erhalt der Rundlaufgenauigkeit der Welle und erhöhte Steifigkeit.
- › Hauptwellen von Werkzeugmaschinen, Ritzelwellen von Getrieben für Automobile
Erhöhung der Steifigkeit der Lager und optimierter Zahneingriff.
- › Kleine Elektromotoren
Reduzierung des Geräuschpegels, der durch axiale Vibration und Resonanz verursacht wird
- › Hochgeschwindigkeits- oder Hochbeschleunigungsanwendungen mit Schrägkugellagern und Axialkugellagern
Verhinderung des Gleitens zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen aufgrund von Kreiselmomenten
- › Axialkugellager und Axialpendelrollenlager, auf einer horizontalen Welle
Erhalt der Wälzkörper mit den Lagerringen in ihrer korrekten Position

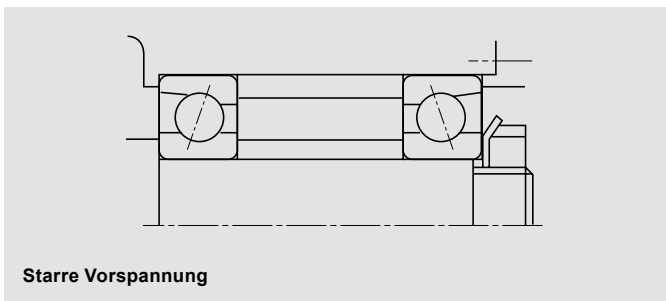
Vorspannarten

1a) Starre Vorspannung

Eine starre Vorspannung wird erreicht, indem zwei axial gegenüberliegende Lager verspannt eingebaut werden. Nachdem sie einmal fixiert wurde, bleibt diese Position während des Betriebs unverändert.

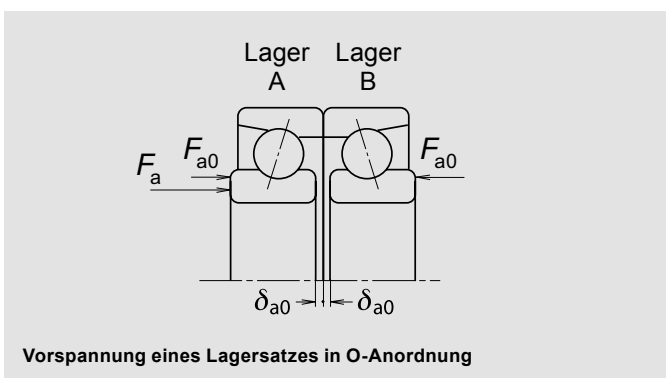
In der Praxis kommen normalerweise drei Methoden zum Einsatz, um eine starre Vorspannung zu erreichen:

- › Installation eines paarweise zusammengepassten Lagersatzes mit zuvor angepassten Abstandsmaßen und axialem Lagerspiel
- › Verwendung eines passenden Zwischenringes oder einer U-Scheibe, um den notwendigen Abstand und die Vorspannung zu erreichen
- › Verwendung von Schrauben oder Muttern, um die axiale Vorspannung einzustellen
In diesem Fall sollte das Anlaufmoment gemessen werden, um die korrekte Vorspannung nachzuprüfen.

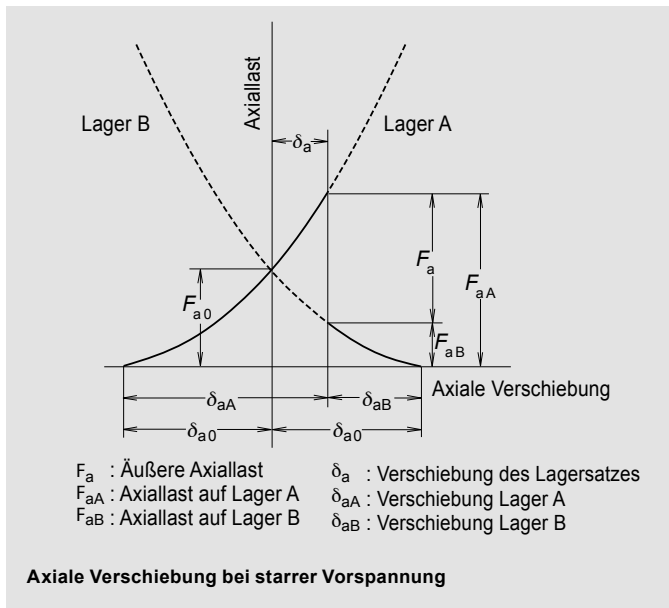


1b) Starre Vorspannung und Steifigkeit

Mit der axialen Fixierung der Innenringe der Lager A und B wird der Spalt mit dem Abstand $2 \delta_{a0}$ eliminiert. Jedes Lager wird mit der Vorspannkraft F_{a0} vorgespannt.

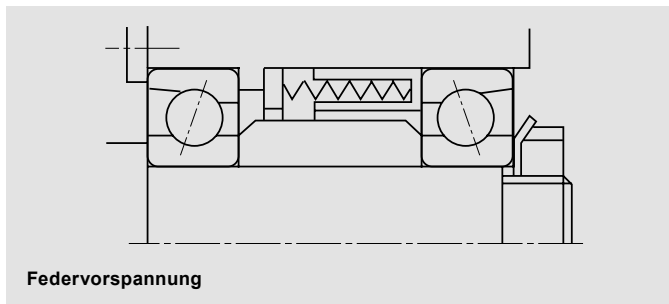


Steifigkeitsverlauf eines Lagersatzes als Beziehung zwischen der Belastung und den axialen Verschiebungen bei gegebener Axiallast F_a .



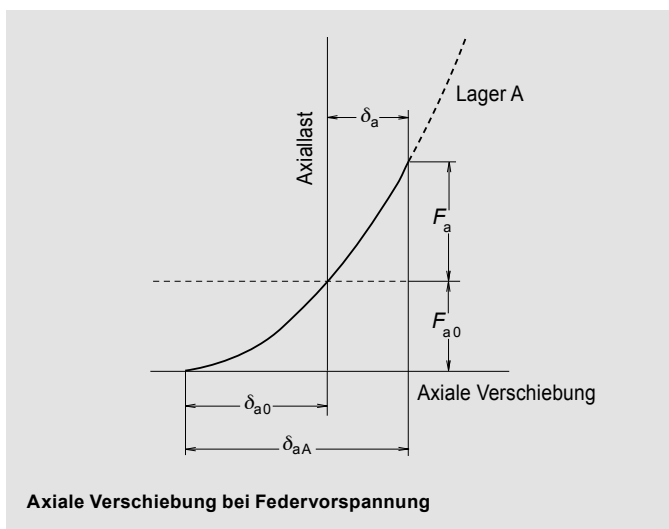
2a) Federvorspannung

Eine Federvorspannung wird mit Hilfe einer Spiral- oder Blattfeder erzeugt. Auch wenn sich die relative Position der Lager während des Betriebs verändert, bleibt die Größe der Vorspannung relativ konstant.



2b) Federvorspannung und Steifigkeit

Die Abbildung zeigt einen Steifigkeitsverlauf für gepaarte Lager unter Federvorspannung. Die Verformungskurve der Feder verläuft fast parallel zur Horizontalachse, da die Steifigkeit der Federn niedriger ist als die Lagersteifigkeit. Folglich ist die Steifigkeit unter einer Federvorspannung etwa gleich der eines einzelnen Lagers unter Vorspannung F_{a0} .



Vergleich von Lagersteifigkeiten und Vorspannmethode

Starre Vorspannung und Federvorspannung können wie folgt verglichen werden:

- (1) Wenn beide Vorspannungen gleich sind, bietet die starre Vorspannung eine größere Lagersteifigkeit, d.h. die Verformung auf Grund externer Belastungen ist bei Lagern mit starrer Vorspannung geringer.
- (2) Die Federvorspannung eignet sich besser für Hochgeschwindigkeitsanwendungen, um axialer Vibrationen zu vermeiden sowie für den Einsatz mit Axiallagern auf horizontalen Wellen.
- (3) Bei der starren Vorspannung hängt die Vorspannung von folgenden Faktoren ab
 - › Differenz der axialen Ausdehnung auf Grund von Temperaturunterschieden zwischen Welle und Gehäuse
 - › Unterschied in der radialen Ausdehnung durch Temperaturunterschiede zwischen den Innen- und Außenringen
 - › Verformung durch Belastung
- (4) Bei der Federvorspannung können Änderungen der Vorspannung minimiert werden, da die Abweichung der Federbelastung mit der Wellenaufweitung und -schrumpfung nebensächlich ist.

Wert der Vorspannung

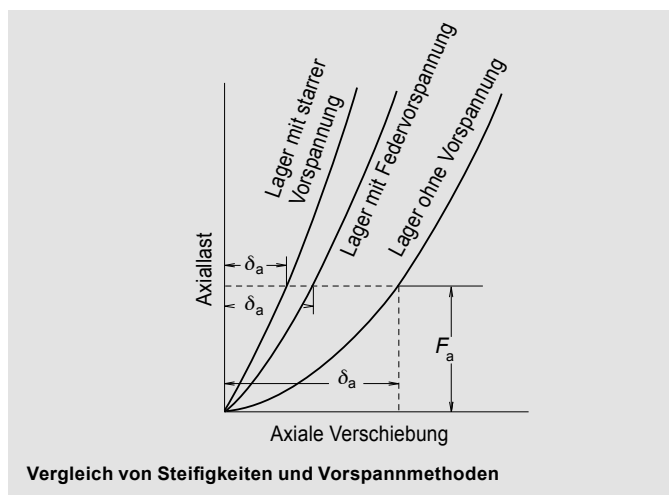
Ist die Vorspannung größer als notwendig, kann dies u. a. zu ungewünschter Wärmeentwicklung, zunehmenden Reibmomenten und verringerter Lebensdauer führen. Die Höhe der Vorspannkraft sollte unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen und dem Zweck der Vorspannung ermittelt werden. Im Extremfall kann die Lagerlebensdauer wenige Stunden betragen.

(1) Vorspannen eines gepaarten Schrägkugellagers

Grundsätzlich gilt, dass eine sehr leichte oder leichte Vorspannung für Schleifspindeln und die Hauptspindeln von Bearbeitungszentren gewählt werden sollte. Für Hauptspindeln von Drehbänken, die Steifigkeit erfordern, sind mittlere Vorspannkraften geeignet. Wenn die Drehzahlen einen Wert von $D_{pw} \cdot n$ ($d_m n$ -Wert) erreichen, der über 500.000 liegt, sollte die Vorspannung sehr genau beurteilt und ausgewählt werden.

(2) Vorspannen von Axialkugellagern

Wenn die Kugeln eines Axialkugellagers mit relativ hoher Geschwindigkeit umlaufen, kann durch Kreismomente an den Kugeln ein Gleiten auftreten. Der größere der beiden Werte, der sich aus den Gleichungen ergibt, sollte als Mindestaxiallast übernommen werden, um das Gleiten zu verhindern.



$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{100} \cdot \left(\frac{n}{N_{\max}} \right)^2$$
$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{1000}$$

$F_{a \min}$: Mindestaxiallast (N), {kgf}
 n : Drehzahl (U/min)
 C_{0a} : Statische Tragzahl (N), {kgf}
 N_{\max} : Grenzdrehzahl (Ölschmierung) (U/min)

(3) Vorspannen von Axialpendelrollenlagern

Wenn Axialpendelrollenlager eingesetzt werden, können während des Gleitens zwischen den Rollen und der Laufbahn des Außenrings Schäden wie gebrochene Ringe entstehen. Die Mindestaxiallast $F_{a \min}$ zur Vermeidung dieses Gleitens kann mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{1000}$$