

## Zusammenfassung

- Als *Lagerluft* wird die innere Beweglichkeit der Wälzkörper und der Ringe in axialer und radialer Richtung bezeichnet
- *Lagerluft* bezieht sich auf ein nicht montiertes Wälzlager
- *Betriebsspiel* bezieht sich auf ein eingebautes Wälzlager in Betrieb
- Typische Lagerluftklassen (Werte für ein Rillenkugellager 6008): C2 (1->11µm) -> CN -> C3 -> C4 (28->46µm)
- Als Vorspannung wird ein a) negatives radiales Betriebsspiel bzw. b) das axiale Vorspannen eines Wälzlagers mittels Feder oder aufgrund eines definierten Weges bezeichnet

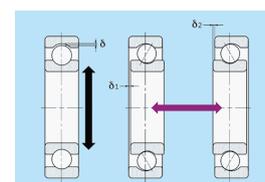
*Lagerluft* und *Betriebsspiel*, ist das nicht dasselbe? Und *Vorspannung*, schon mal gehört, aber was soll das sein?! Wie berechne ich all diese Werte und welche Kriterien sind bei der Wahl des richtigen *Betriebsspiels* von Bedeutung? Vielleicht seht ihr euch mit solchen Fragen konfrontiert - dazugehörige und weiterführende Antworten findet ihr in diesem Beitrag.

## Definition von Lagerluft und Betriebsspiel

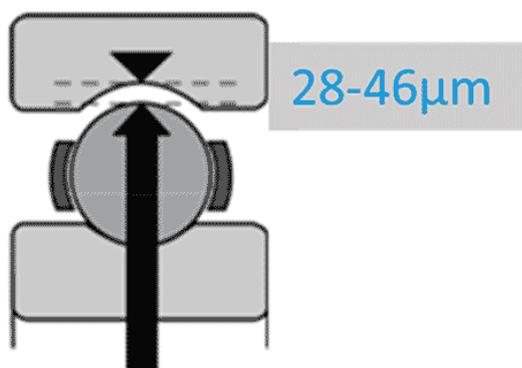
Die Lagerluft bezieht sich auf ein nicht eingebautes **Wälzlager** und lässt sich als innere Beweglichkeit der **Wälzkörper** und der Ringe in axialer sowie radialer Richtung bezeichnen. Das *Betriebsspiel* lässt sich zwar ebenfalls als innere Beweglichkeit der Wälzkörper und der Ringe in beide Richtungen bezeichnen, allerdings bezieht man sich hierbei auf ein eingebautes Lager in Betrieb.

## Lagerluft

Die Lagerluft lässt sich am praktischsten anhand der Vorstellung eines Lagers (beispielsweise eines Rillenkugellagers), das man in der Hand hält, erklären. Versucht man, den **Innenring** dieses Lagers hoch und runter bzw. nach links und rechts zu bewegen, während man den **Außenring** dabei festhält, nimmt man eine kleine Verschiebung in radialer (schwarzer Pfeil) bzw. axialer Richtung (lila Pfeil) wahr. Diese Verschiebung wird als Lagerluft bezeichnet. Im Umkehrschluss kann auch der Innenring festgehalten und der Außenring hoch und runter bzw. nach links und rechts bewegt werden. Auch hierbei spricht man von Lagerluft.



*Die Lagerluft ist durch Verschiebungen sowohl in radialer als auch axialer Richtung charakterisiert.*



*Die Lagerluft des Rillenkugellagers 6008C4, das der folgenden Beispielrechnung dient, ist hier grafisch dargestellt.*

Aber genug Theorie. Wie sieht es mit der Lagerluft bei einem Praxisbeispiel aus? Für ein Lager 6008C4 beträgt die radiale Lagerluft beispielsweise 28-46µm (= C4). Im ersten Schritt wird das Lager 6008C4 einmal auf eine Stahlwelle montiert, die beispielsweise eine k6 Passung (+2 -> +18µm) hat. Da das Lager 6008C4 eine Toleranz am Innenring von 0/-12µm hat, beträgt die Überdeckung/das Übermaß zwischen Innenring und Welle 2µm -> 30µm. Dieser Wert ergibt sich durch das Betrachten der Wellenpassung und der Toleranz am Lagerinnenring.

# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

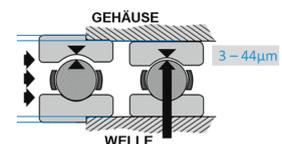
Es werden lediglich Extremwerte berücksichtigt, die den Bereich umfassen, wenn das „größte“ Lager auf die „kleinste“ Welle bzw. das „kleinste“ Lager auf die „größte“ Welle montiert wird. In diesem Beispiel wären das also folgende Fälle:

- Welle mit 40,002 mm und Lager mit 40,000 mm = 2  $\mu\text{m}$
- Welle mit 40,018 mm und Lager mit 39,988 mm = 30  $\mu\text{m}$

Dabei wird schon etwas Kraft benötigt, um das 6008C4 auf die Welle zu montieren. Aufgrund dieser Wellenpassung wird die Lagerluft reduziert, sodass die Lagerluft im Lager nach der Montage auf der Welle +3 $\mu\text{m}$  -> +44 $\mu\text{m}$  beträgt. Nun erfolgt eine Montage der Welle mit dem 6008C4 in ein Stahlgehäuse. Das Gehäuse hat in diesem Beispiel eine H6 (0 $\mu\text{m}/+19\mu\text{m}$ ) Passung und der Außenring des Lagers eine Toleranz von 0/-13 $\mu\text{m}$ .

Vergleichbar mit der Welle werden die Gehäuselagerpassung und die Außenringtoleranz betrachtet. Hier gilt beispielsweise:

- Gehäuse mit 68,000 mm und Lager mit 68,000 mm = 0  $\mu\text{m}$
- Gehäuse mit 68,019 mm und Lager mit 67,987 mm = 32  $\mu\text{m}$

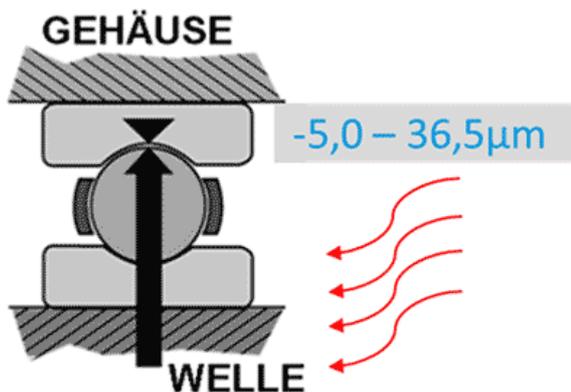


Reduktion der Lagerluft  
aufgrund von **Passungen**.

Wie man erkennen kann, beträgt das Spiel zwischen Außenring und Gehäuse 0 $\mu\text{m}$  à 32 $\mu\text{m}$ . Die Lagerluft im Lager wird dadurch nicht verändert: +3 -> +44 $\mu\text{m}$ .

Darauffolgend wird die Welle zum Beispiel mit 8.000 U/min gedreht. Das Lager 6008C4 hat jetzt eine Temperatur am Innenring von 100 °C und am Außenring von 90 °C. Aber was passiert da jetzt eigentlich? Nun, der

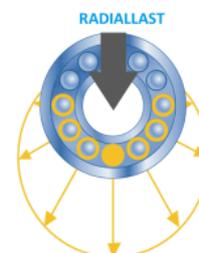
# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung



*Dadurch, dass sich der Innenring stärker als der Außenring ausdehnt, reduziert sich die Lagerluft.*

Innenring und der Außenring dehnen sich aufgrund der Wärme aus, aber der Innenring dehnt sich mehr aus als der Außenring. Aufgrund dessen wird die Lagerluft im Lager von +3 -> +44µm auf -5,0 -> +36,5µm reduziert. Diese Reduktion um etwa 7,5µm wird mit einem Computerprogramm oder alternativ mithilfe von Katalogformeln berechnet.

Wenn jetzt eine **Radialkraft** hinzugegeben wird, dann verbessert das die radiale Lagerluft wieder. Grund dafür ist, dass ein Teil der Wälzkörper die Radiallast aufnimmt und die anderen Wälzkörper entlastet werden. In der Abbildung zur Radiallast ist dies einmal für ein Lager dargestellt. Die Länge der gelben Pfeile gibt dabei die Größe der jeweilig wirkenden Kraft auf die Wälzkörper an.



*In dieser Abbildung seht ihr die Größe der auf die Wälzkörper wirkenden Kraft. Kurz formuliert: kleiner Pfeil = geringe Belastung, großer Pfeil = hohe Belastung des Wälzkörpers.*

Bei Wälzlagern gibt es verschiedene Gruppen der radialen Lagerluft. Diese können in der Tabelle abgelesen werden. (Hinweis: Die axiale Lagerluft lässt sich mittels Formeln aus dem Radialspiel berechnen, beispielsweise für Rillenkugellager.)

Lagerluft	Bedeutung	Mögliche Anwendungen

# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

C2	Lagerluft ist kleiner als normal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kleinmotoren</li><li>• Wellenzapfen von Kompressoren</li></ul>
CN	Standard-Lagerluft	<ul style="list-style-type: none"><li>• unterschiedlichste Anwendungen</li></ul>
C3	Lagerluft ist größer als normal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Achslager für Schienenfahrzeuge</li><li>• Papiermaschinen und Trockner</li></ul>
C4	größer als C3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fahrmotorenlager für Schienenfahrzeuge</li><li>• Papiermaschinen und Trockner</li></ul>
C5	größer als C4	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sonderanwendungen</li></ul>

*Besonders auf CN, C3 und C4 werdet ihr sicher nicht zum letzten Mal stoßen. Die anderen Lagerluft-Klassen finden nur bei besonderen Betriebsbedingungen Verwendung.*

## Betriebsspiel

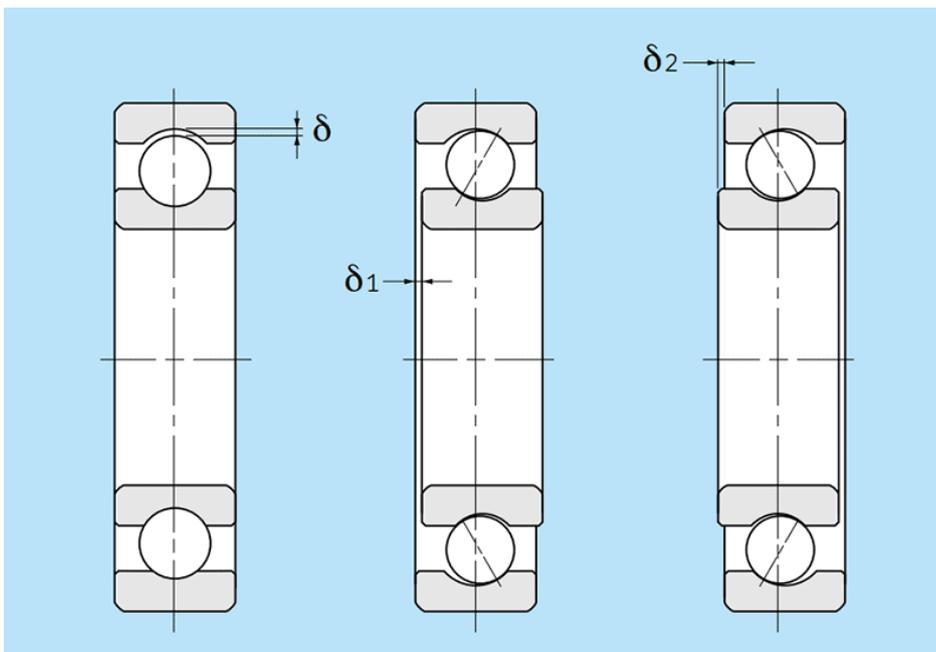
Man kann jetzt also sagen, dass die Lagerluft im Betriebszustand  $-5,0\mu\text{m}$  bis  $36,5\mu\text{m}$  beträgt. Diese Lagerluft im Betriebszustand wird auch als Betriebsspiel bezeichnet. Die Zusammenhänge und die sich je nach Montagezustand ändernde Lagerluft sind in der Tabelle einzusehen.

Zusammengefasste Ergebnisse		
Schritt	Zustand	Radiale Lagerluft/Betriebsspiel
<b>1</b>	<b>Vor der Montage</b>	$28\mu\text{m} - 46\mu\text{m}$

# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

2	Nach der Montage auf der Welle k6-Passung	3µm - 44µm
3	Nach der Montage ins Gehäuse H6	3µm - 44µm
4	Im Betrieb, 8.000U/min, Temperatur-Innenring: 100 °C, Temperatur-Außenring: 90 °C	+7,3µm -> +48,7µm
5	Radialkraft von 1.000 N	+7,3µm -> +48,7µm

Diese Tabelle fasst die wichtigsten der zuvor geschilderten Fakten noch einmal zusammen.



Formel 11  
 Radialspiel =  $\delta$   
 Axialspiel =  $\delta_1 + \delta_2$

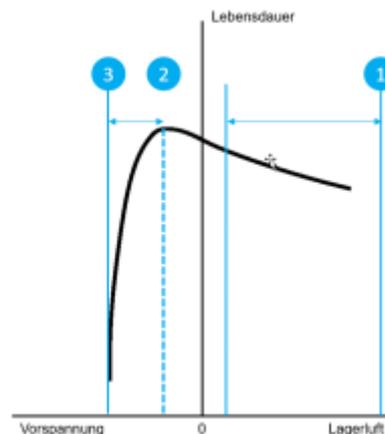
Die Bestimmung von Radial- und Axialspiel.

In der Abbildung seht ihr, dass das Betriebsspiel in Radial- und Axialspiel

unterschieden wird. Radial- und Axialspiel werden unterschiedlich bestimmt.

## Beispiel: Zusammenhang Betriebsspiel und Lebensdauer

Eine gezielte und sorgfältige Auswahl der Lagerluft ist elementar, da sich das spätere Betriebsspiel auf die **Lebensdauer** (nicht die  $L_{10h}$ -Lebensdauer), den Temperaturverlauf, die Lagerleistung sowie das Laufgeräusch auswirkt. Die Auswirkungen des Betriebsspiels auf die Lebensdauer sind in der Grafik dargestellt.

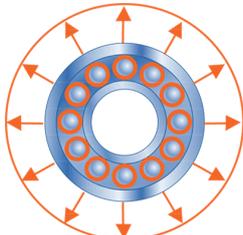
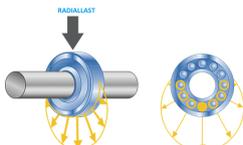


Lebensdauer in Abhängigkeit des Betriebsspiels.

Wie ihr in der Abbildung erkennen könnt, fällt in den Bereichen 3 und 1 die Lebensdauer rapide ab. Aber warum nimmt die Lebensdauer so stark ab? Angenommen, das im Beispiel zuvor bereits erwähnte Lager 6008C4 hat 12 Kugeln (= Wälzkörper). Wenn die Temperaturdifferenz zwischen Innenring und Außenring nun aber stets ansteigt, verringert sich das Betriebsspiel weiter (Bereich 3). Dadurch sind jetzt alle 12 Wälzkörper im Kontakt, welche über die Laufbahnen gleiten (ein Abrollen findet nicht mehr statt). Dadurch sinkt die Lebensdauer bis zum Totalausfall!

Wird die zuvor angeführte Tabelle zu den Lagerluftklassen noch um eine weitere Spalte erweitert, sind in der vierten Spalte (Lastaufnahme) die Kugeln dargestellt, welche die Radialkraft (zum Beispiel Gewichtskraft der Welle) „ertragen“.

# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

Schritt	Zustand	Lagerluft/ Betriebsspiel	Lastaufnahme	Bereich (siehe Abbildung oben)	Hinweis
1	Vor der Montage	28µm - 46µm	-	-	-
2	Nach der Montage auf der Welle k6-Passung	3µm - 44µm	3 von 12	1-2	-
3	Nach der Montage ins Gehäuse H6	3µm - 44µm	3 von 12	1-2	-
4	Im Betrieb, 8.000U/min, Temperatur-Innenring: 100 °C, Temperatur- Außenring: 90 °C	-5,0µm - 36,5µm	12 von 12	2-3	 <p>Das Lager 6008C4 hat eine Innenringtemperatur von 100 °C und Außenringtemperatur von 90 °C bei n= 8.000U/min.</p>
5	Radialkraft von 1.000 N	+7,3µm -> +48,7µm	7 von 12	2-1	 <p>Das Lager 6008C4 befindet sich im Betrieb unter Einwirkung einer Radiallast von 1.000N.</p>

In dieser Tabelle wird ersichtlich, wie viele Kugeln bzw. Wälzkörper die Last – abhängig vom Betriebsspiel – tragen.

## Die Berechnung des Betriebsspiels

Auch wenn das Betriebsspiel (theoretisch) idealerweise leicht negativ sein sollte, um einer maximalen Lagerlebensdauer zu dienen, wird im praktischen Alltag bei normalen Betriebsbedingungen in der Regel ein Betriebsspiel anvisiert, das knapp über Null bleibt. Grund dafür ist, dass sich dieses negative Betriebsspiel (Vorspannung) vergrößern könnte, wenn ein Wälzlager wechselnden Betriebsbedingungen ausgesetzt wird. Dies würde wiederum zu der bereits beschriebenen Reduzierung der Lebensdauer führen.

Für die Berechnung des Betriebsspiels müssen Faktoren wie [Passungen](#) sowie Temperaturdifferenzen, die zwischen Innen- und Außenring auftreten, berücksichtigt werden.

Formel 12

$$\delta_{\text{eff}} = \delta_o - (\delta_f + \delta_t)$$

$\delta_{\text{eff}}$  = Betriebsspiel (stellt sich effektiv ein), mm

$\delta_o$  = Lagerluft, mm

$\delta_f$  = Abnahme der Lagerluft durch Übermaß aufgrund von Passungen, mm

$\delta_t$  = Abnahme des Lagerspiels aufgrund von Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Außenringen, mm

Die Berechnung des Betriebsspiels  $\delta_{\text{eff}}$  erfordert drei Variablen.

## Das Übermaß $\delta_f$

Die Lagerluft in einem Lager wird aufgrund eines Übermaßes  $\delta_f$  zwischen Innenring und Welle bzw. Außenring und Gehäuse reduziert. Durch das Übermaß  $\delta_f$  zwischen Innenring und Welle erfolgt während der Montage eine Aufweitung des Innenrings bzw. eine Komprimierung des

Außenrings (Übermaß zwischen Außenring und Gehäuse).

Mit Formel 13 kann die Abnahme der Lagerluft berechnet werden. Der Einfachheit halber werden Faktoren wie unter anderem die Lager-, Wellen- und Gehäuseform sowie die verwendeten **Materialien** durch einen Zahlenwert von 70 %-90 % berücksichtigt. Generell gilt: Je größer das Übermaß, desto mehr wird das **Lagerspiel** reduziert.

Formel 13

$$\delta_f = (0,70 \sim 0,90) \Delta_{\text{deff}}$$

$\Delta_{\text{deff}}$  bezeichnet das effektive Übermaß in mm.

## Die Temperaturdifferenz $\delta_t$

Doch mit Errechnung des Wertes  $\delta_f$  ist die Arbeit noch nicht getan: Im nächsten Schritt wird die Variable  $\delta_t$  berechnet, mit der die Verringerung des Betriebsspiels durch eine Temperaturdifferenz im Lager berücksichtigt wird. Eine wichtige Info: Wenn das Lager betrieben wird, ist der Außenring tatsächlich 5 bis 10 °C kühler als zum Beispiel der Innenring. Unter bestimmten Bedingungen wie überdurchschnittlich hoher Wärmeableitung des Gehäuses kann diese Differenz sogar noch größer ausfallen.

Formel 14

$$\delta_t = \alpha \times \Delta T \times D_o$$

$\alpha$  = Temperatur-Ausdehnungskoeffizient des Lagermaterials,  $12,5 \times ((10) \cdot 6 / ^\circ\text{C})$

$\Delta T$  = Temperaturdifferenz (Innen-/Außenring)  
in °C

$D_o$  = Laufbahndurchmesser Außenring, mm

*Wenn die Verringerung des Betriebsspiels durch eine Temperaturdifferenz berechnet werden soll, müsst ihr verschiedene Faktoren berücksichtigen.*

## Der Laufbahndurchmesser des Außenrings $D_o$

Um wiederum den Laufbahndurchmesser des Außenrings  $D_o$  (annäherungsweise) zu ermitteln, muss man - je nach Wälzlagerart - Formel 15 oder Formel 16 verwenden.

Formel 15

für Kugellager und Pendelrollenlager:

$$D_o = 0,20 (d + 4,0D)$$

*Die Berechnung des Laufbahndurchmessers des Außenrings  $D_o$  erfolgt bei Kugel- und Rollenlagern unterschiedlich.*

Formel 16

für Rollenlager (außer Pendelrollenlager):

$$D_o = 0,25 (d + 3,0D)$$

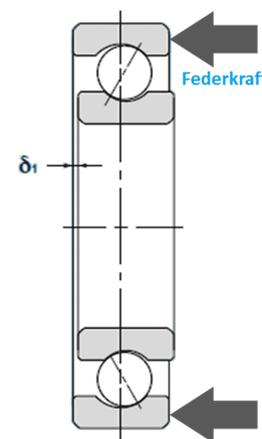
## Vorspannung

Bislang ging es in diesem Beitrag um Lagerluftklassen und um die Frage, wie sich diese im Betrieb verändern. Doch je nach Anwendungsfall ist es erforderlich, dass man Lager axial vorspannt.

Eine Möglichkeit, welche beispielsweise in Elektromotoren oft verwendet wird, ist das axiale Vorspannen der Wälzlager mittels

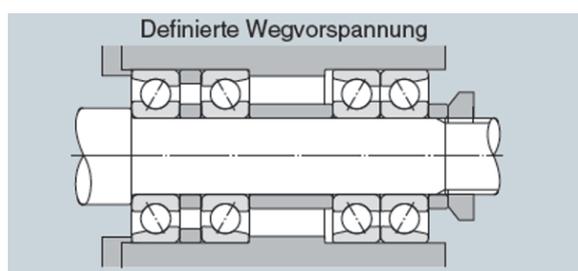
# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

Feder (Vorspannen mittels konstanter Vorspannkraft). In der Abbildung ist dies sinnbildlich dargestellt. Die Federkraft wirkt am ganzen Umfang.



Federkraft bei einem Rillenkugellager.

Warum macht man das nun? Die Federvorspannkraft bewirkt, dass sich alle Kugeln an die Laufbahnen des Rillenkugellagers anschmiegen (axiale Lagerluft =  $0\mu\text{m}$ ). Die Vorspannung bewirkt also eine Spannung an den Berührungspunkten von Wälzkörpern und Laufbahnen. Durch diese wird das Betriebsgeräusch reduziert und das Schwingungsverhalten verbessert.



Spindellager sind exemplarisch für Lager, die vorgespannt werden.

Ein weiterer Anwendungsfall sind die Lager in einer Werkzeugmaschinenspindel (daher auch der Name Spindellager). Hier werden die Spindellager entweder wie beim Elektromotor mittels Feder oder alternativ über einen definierten Weg axial vorgespannt.

Vorspannung kommt am ehesten bei Schrägkugellagern und Kegelrollenlagern vor, zudem wirkt sich eine leichte Vorspannung positiv auf die Gesamtlebensdauer aus. Im Kontext der

Vorspannung sollte man immer den Zweck und das Ziel berücksichtigen, denn Vorspannung bringt auch ihre Risiken mit sich, insbesondere, wenn eine zu hohe Vorspannung eingestellt wird. Deshalb sollte keinesfalls außer Acht gelassen werden, dass diese zu erhöhter **Flächenpressung**, extrem hoher Wärmeentwicklung und zu einer Verkürzung der Lagerlebensdauer führen kann.

Auswirkungen der Vorspannung:

- Erhöhung der Steifigkeit
- für höchste Drehzahlen nur bedingt zu empfehlen (gilt für Wegvorspannung)
- Rundlauf und Positionierungsgenauigkeit werden verbessert
- positiver Einfluss auf Vibrationen und Laufgeräusch
- geringeres Risiko für **Anschmierung**
- Zwangsführung von Wälzkörpern am **Führungsbord**  
 (zum Beispiel bei Kegelrollenlagern)

*Vorspannung steht mit mehreren Aspekten im Zusammenhang.*

## Das könnte Dich auch interessieren



### Kegelrollenlager

9. März 2022

# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

Charakteristika der Kegelrollenlager Hier seht ihr ein NTN-Kegelrollenlager. Kegelrollenlager zählen, wie der Name suggeriert, zu den Rollenlagern, wobei der Begriff Kegel von der Form der

[Weiterlesen »](#)

## Lebensdauerberechnung

9. März 2022

Mist - Lagerschaden! Wenn ihr bedenkt, dass Wälzlager einer anhaltenden Druck- und Scherbelastung ausgesetzt sind, ist dies zunächst einmal nichts Ungewöhnliches. Entscheidend ist dabei eher

[Weiterlesen »](#)

## O-, X- und Tandem-Anordnung

9. März 2022

Falls ihr bereits auf der Infoseite zu Schrägkugellagern oder Kegelrollenlagern unterwegs wart, seid ihr womöglich schon mit verschiedenen Arten von Lageranordnungen in Berührung gekommen. Konkret

[Weiterlesen »](#)

## Passungswahl

9. März 2022

Übermaßpassung, Übergangspassung, Spielpassung. Diese drei Passungsarten solltet ihr nach dem Lesen dieses Beitrags kennen und definieren können. Aber zuvor ist es sinnvoll zu verstehen, was

[Weiterlesen »](#)



## Schrägkugellager

9. März 2022

Das Schrägkugellager ist quasi der Bruder des Rillenkugellagers. Charakteristika der Schrägkugellager Vielleicht kennt ihr bereits einige Charakteristika des Rillenkugellagers. Das wird in diesem Text hilfreich sein,

[Weiterlesen »](#)

## Werkstoffe & Fertigung

9. März 2022

Werkstoffe und Fertigung Habt ihr schon in unser Kapitel Aufbau und Funktionsweise geschaut? Vielleicht habt ihr euch ja dabei gefragt, woraus Wälzlager eigentlich bestehen. Ein

# Lagerluft, Betriebsspiel und Vorspannung

**NTN**  
Make the world **NAMERAKA**

 wälzlagerwissen.de

[Weiterlesen »](#)