
Maschinenelemente 2A - Wälzlager



Wälzlagerbauarten

- Bei Wälzlagern ermöglichen Wälzkörper die Relativbewegung zwischen den Teilen, die es abzustützen gilt.
- Diese Bauart besitzt sowohl vorteilhafte als auch nachteilige Eigenschaften gegenüber einem Gleitlager.



Vorteile eines Wälzlagers gegenüber einem Gleitlager

- Die Reibung ist geringer \Rightarrow speziell beim Anlauf und Auslauf
- Die Genauigkeit ist weit höher, da u.a. auf einen Schmierpalt verzichtet werden kann.
- Es müssen kaum Schmierstoffe eingesetzt werden \Rightarrow keine Verunreinigungsprobleme
- geringer Kühlungsbedarf
- radiale, axiale und kombinierte Belastbarkeit
- annähernd spielfreier Betrieb möglich
- Die Baugruppen, die Einbaumaße sowie die Ersatzteile sind genormt.
 - weltweite Verfügbarkeit bei verschiedensten Herstellern



Nachteile eines Wälzlagers gegenüber einem Gleitlager

- Durch den Punktkontakt ist die Lebensdauer eines Wälzlagers begrenzt.
 - Hertzscher Kontakt
- Erschütterungen und Stöße führen selbst im Stillstand zu Schäden am Lager.
- aufwändigerer Ein- und Ausbau
- Geräusche und Schwingungen infolge einer geringen Dämpfung
- die Drehzahl ist vergleichsweise gering.
- höherer radialer Platzbedarf durch größeren Bauraum

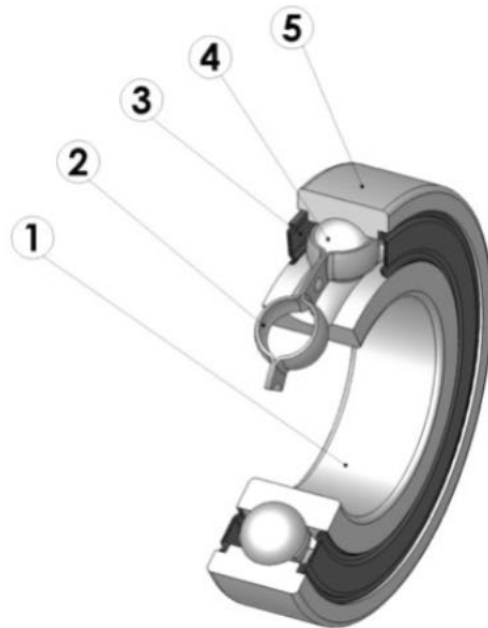


Aufbau eines Wälzlagers

- In allen Wälzlagern rollen kugel- oder rollenförmige Walzkörper, die in den meisten Fällen in einem Käfig gehalten werden.
- Die Laufbahnen der Walzkörper weisen eine hohe Festigkeit, Oberflächengüte und Formtreue auf. Eingearbeitet sind die Laufbahnen in den Außen- und Innenring des Lagers.
- Wälzlager gibt es in den unterschiedlichsten geometrischen Ausführungen.

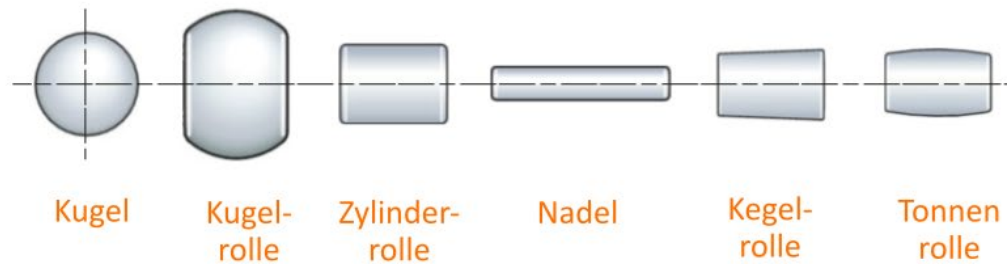


Aufbau eines Wälzlagers



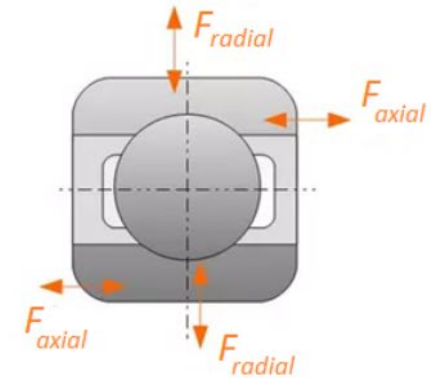
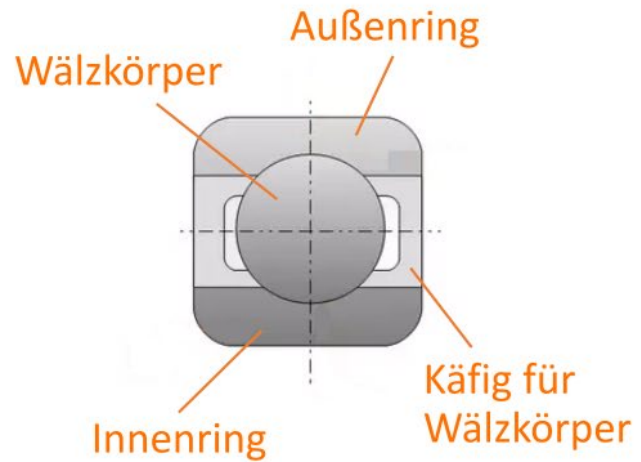
1. Innenring
2. Käfig
3. Dicht- oder Deckscheibe
4. Wälzkörper (hier Kugeln)
5. Außenring

Unterschiedliche Bauformen von Wälzkörpern





Rillenkugellager – Aufbau und Kräfte



Mögliche Kräfte an einem Rillenkugellager



Wälzlagerkäfig

- Der Wälzlagerkäfig verhindert eine gegenseitige Berührung der Wälzkörper, indem er diese gleichmäßig über den Umfang verteilt.
- Abhängig von den Anforderungen, wie beispielsweise Führungsverhalten oder Genauigkeit, stellt man den Käfig aus Messing, Kunststoffen oder Blechen her.



Wälzlagerkäfig

Wälzlagerkäfige aus Stahl



1. Nietkäfig für Rillenkugellager
2. Fensterkäfig für Nadellager
3. Fensterkäfig für Pendelrollenlager

Wälzlagerkäfige aus Messing



1. Genieteteter Massivkäfig
2. Fensterkäfig für Schrägkugellager
3. Stegvernieteter Käfig für Zylinderrollenlager



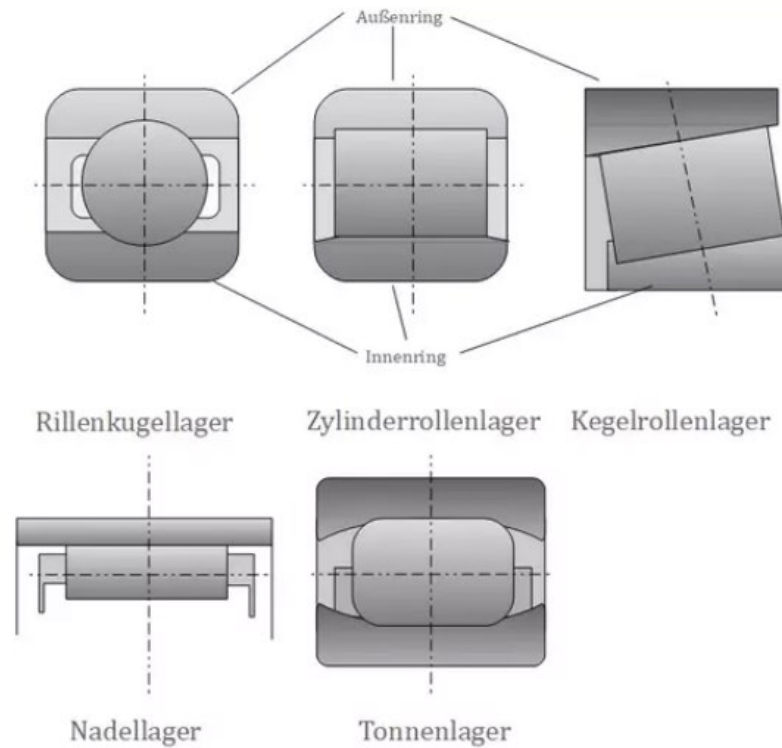
Wälzlagerformen

Die Funktion eines Lagers ergibt sich aus der Form des Wälzkörper. So lassen sich Wälzlager unterscheiden in:

- (Rillen-)Kugellager
- Zylinderrollenlager
 - hohe Belastbarkeit durch Radialkräfte
- Kegelrollenlager
 - hohe Belastbarkeit durch Axialkräfte
- Nadelager
- Tonnenlager und andere mehr (siehe auch vorangegangene Bilder)



Lagerbauarten





Belastungsrichtungen eines Wälzlagers

Wälzlager lassen sich auch hinsichtlich ihrer Belastungsrichtung unterscheiden. Die Belastungsrichtung ergibt sich durch die Anordnung der Wälzkörper. Wir unterscheiden:

- Radiallager
 - nimmt radiale Kräfte auf
- Axiallager
 - nimmt axiale Kräfte auf
- Schräglager
 - vereint die Eigenschaften von Radial- und Axiallagern, jedoch in geringerem Umfang
- Kombinationen von Axial- und Radiallagern werden in der Praxis oft auch als „**Radiaxlager**“ bezeichnet.



Wälzlager – radiale, axiale und kombinierte Lagerung



Radiallager
zweireihiges Pendelrollenlager

Bild: Schaeffler



Axiallager
zweireihiges
Pendelrollenlager

Bild: Wälzlagertechnik Dresden



Radiaxlager
Kombiniertes
Axial-/Radiallager

Bild: Max Lamb GmbH Co.KG



Lagerberechnung

Relevante Themen:

- elastische Verformung und Flächenpressung in Wälzlagern
- Hertzsche Gleichungen
- praktische Berechnungen
- statische Beanspruchung
- dynamische Beanspruchung
- Ermüdungsrechnung

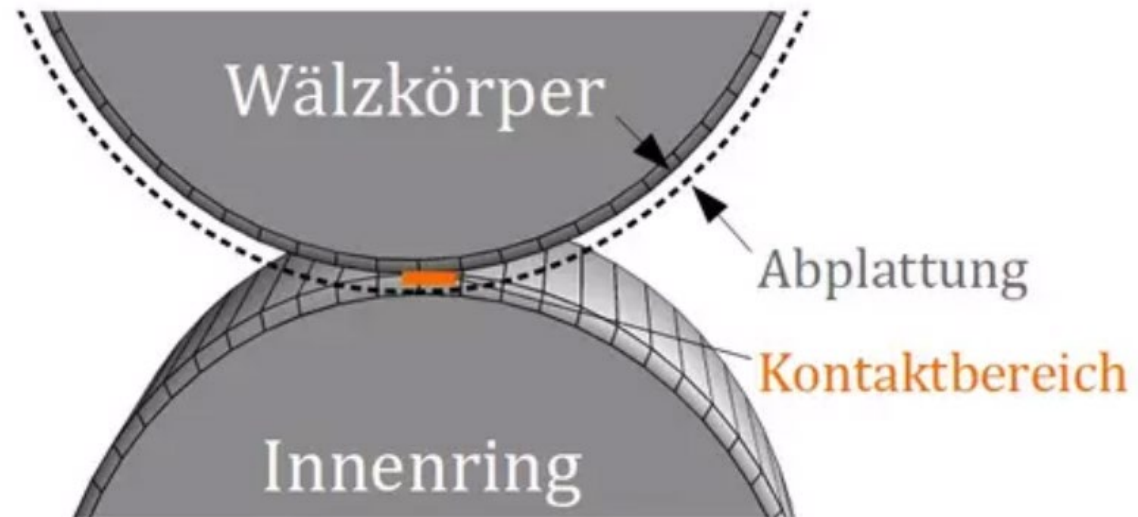


Elastische Verformung und Flächenpressung

- Elastische und auch plastische Verformungen treten infolge einer angreifenden Last an den Kontaktstellen der Wälzkörper auf.
- Nachfolgende Abb. zeigt den Kontaktbereich bzw. die Kontaktzone zwischen dem Wälzkörper und dem Innenring des Lagers.



Elastische Verformung und Flächenpressung





Elastische Verformung und Flächenpressung

Durch das gegenseitige Abwälzen entstehen **elastische Verformungen** und im sehr ungünstigen Fall auch **plastische Verformungen**.

Dabei gilt:

- Bei Kugeln: Punktberührung wird zur Flächenberührung.
- Bei Rollen: Linienberührung wird zur Flächenberührung.



Elastische Verformung und Flächenpressung

- Beide Änderungen treten infolge der aufgezeigten Abplattung auf. Die Abplattung selbst entsteht, weil sich beide Kontaktpartner aufeinander zu bewegen.
- Da sich der Wälzkörper immer um 360° dreht und unsere(r) betrachtete(r) Punkt/Linie mit jeder Umdrehung erneut belastet wird, spricht man von einer **wiederkehrenden Druckbeanspruchung**.
 - **Wiederkehrend = dynamisch!**



Elastische Verformung und Flächenpressung

- Diese können dann zu einer Ermüdung der Kontaktstellen der Kontaktpartner und letztlich zu einer Dauerfestigkeitsschädigung führen.
- Eine Dauerfestigkeitsschädigung bezeichnet man in den meisten Fällen als **Pitting**.
 - Pitting beschreibt das Herausbrechen von kleinen Oberflächenteilen.
- Wieviele Drehungen bzw. Überrollungen ein Wälzlager verträgt, lässt sich aus empirischen Daten ablesen.



Statische Beanspruchung

- Bei einer statischen Beanspruchung eines Wälzlagers ist der Lastfall so beschaffen, dass sich das Lager nicht bewegt, aber gleichzeitig belastet wird.
- Dabei sollte immer versucht werden, die Belastung derart zu reduzieren, dass der Wert nicht den elastischen Verformungsbereich verlässt.
- Tritt dennoch eine plastische Verformung auf, so sollte diese an dem Wälzkörper mit der höchsten Belastung maximal 0,01 % betragen.



Statische Tragfähigkeit C_0

- In diesem Zusammenhang definiert man die statische Tragzahl C_0
- Die statische Tragzahl C_0 eines handelsüblichen Lagers lässt sich aus Firmenkatalogen oder den sogenannten Wälzlagerkatalogen entnehmen und ist für jedes Lager definiert..



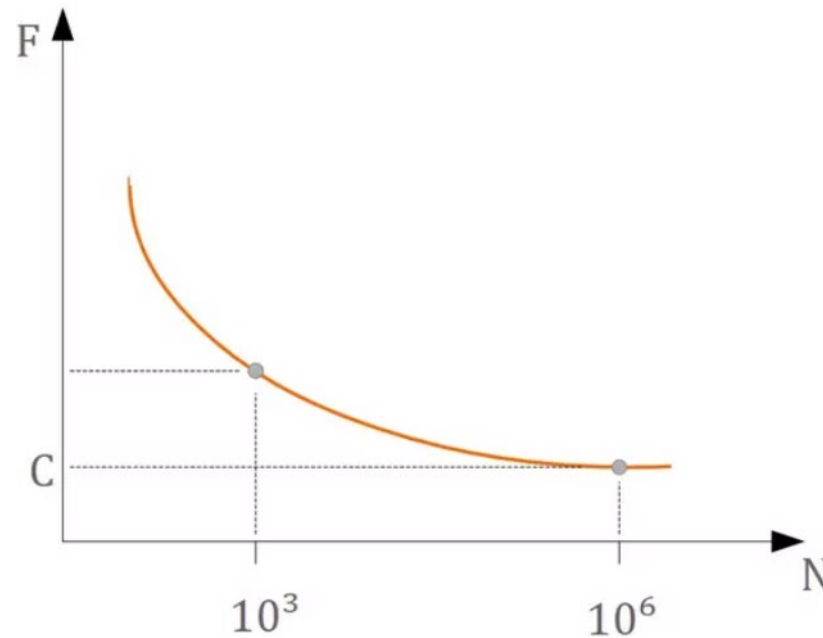
Dynamische Tragzahl C

- Die dynamische Tragzahl C eines Wälzlagers erfasst die Last, bei der 90% der Lager einer Anzahl von 10^6 Umdrehungen standhalten, ohne dass es zu Ermüdungen des Werkstoffs kommt.
- Die Werte für C eines Wälzlagers findet ihr ebenfalls in den entsprechenden Herstellerkatalogen.
- Leider ist die Tragzahl kein Garant für die tatsächliche Beständigkeit des Lagers, da es sich nicht um Grenzwerte, sondern eigentlich um **statistische** Werte handelt und je nach Streuung der Werte auch schon mit einem **früheren** Versagen gerechnet werden sollte!
- Dennoch eignet sich die Tragzahl C , um Ansätze zur Berechnung der Lebensdauer eines Wälzlagers aufzustellen.



Dynamische Tragzahl C

- Besonders die **Wöhlerlinie** für Wälzlager kann dazu genutzt werden. Nachfolgend eine solche Linie für ein Wälzlager allgemein:





Nominelle Lebensdauer in 10^6 Umdrehungen L_{10}

- Aus den Werten aus der Wöhlerkurve lässt sich folgender Ansatz für die Berechnung einer nominellen Lebensdauer ermitteln:

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

mit

- L_{10} = nominelle Lebensdauer in 10^6 Umdrehungen
- C = dynamische Tragzahl des eingesetzten Lagers
- P = dynamisch äquivalente Lagerbelastung in kN
- p = Exponent der Lagerart



Nominelle Lebensdauer in 10^6 Umdrehungen L_{10}

- Das Ergebnis erlaubt eine Vergleichbarkeit für den Dauerfestigkeitsbereich, da die Zyklenzahl dieser Anzahl an Umdrehungen konventionell entspricht
- Berücksichtigung der Drehzahl liefert ein lastabhängiges Ergebnis (realistischer), das eine Lebensdauer in Betriebsstunden liefert
 - Ergebnis deutlich handlicher!



Nominelle Lebensdauer in 10^6 Umdrehungen L_{10h}

- Neue Berechnung unter Berücksichtigung der Drehzahl liefert die erlebbaren **Betriebsstunden**:

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

mit

- L_{10h} = nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden (h)
- p = Drehzahl in min^{-1}



Nominelle Lebensdauer in 10^6 Umdrehungen L_{10h}

- Der **Exponent** p beschreibt die Steigung der Geraden, die im Falle eines Kugellagers anders ausfällt als bei einem Rollenlager.
 - Kugellager \rightarrow Punktberührung $\rightarrow p = 3$
 - Rollenlager \rightarrow Linienberührung $\rightarrow p = \frac{10}{3}$



Bestimmung von P zur Berechnung der Lagerlebensdauer

- P , also die dynamisch äquivalente Lagerbelastung muss vor der Berechnung der Lagerlebensdauer ermittelt werden, wobei die tatsächlichen Kraftverhältnisse in einem Lager zu berücksichtigen sind.
- Zur Bestimmung der dynamischen äquivalenten Belastung P eines Lagers gilt allgemein (Pendelrollenlager ausgenommen):

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

mit

- X = Radialfaktor, der die Höhe der im Lager wirkenden radialen Kraft F_r berücksichtigt
- Y = Axialfaktor, der die Höhe der im Lager wirkenden axialen Kraft F_a berücksichtigt
- F_r = radiale Kraft, die im Lager wirkt
- F_a = axiale Kraft, die im Lager wirkt



Bestimmung des Radialfaktors X für einzelne Lagerarten

Rillenkugellager

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,44$$

$$X = 0,56, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > 0,44$$

Schrägkugellager

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,14$$

$$X = 0,35, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > 1,14$$



Bestimmung des Radialfaktors X für einzelne Lagerarten

Schrägkugellager, paarweise in X- oder O-Anordnung

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,14$$

$$X = 0,57, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > 1,14$$

Pendelkugellager

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$X = 0,65, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > e$$



Bestimmung des Radialfaktors X für einzelne Lagerarten

- Der Wert e ist ein Grenzwert, der für jedes Lager in den entsprechenden Herstellerkatalogen zu finden ist.
- Für einzelne Lagerarten ist er auch in der nachfolgenden Tabelle (später) beispielhaft mit angegeben.



Bestimmung des Radialfaktors X für einzelne Lagerarten

Pendelrollenlager

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$X = 0,67, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > e$$

Kegelrollenlager

$$X = 1, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$X = 0,40, \text{ wenn } \frac{F_a}{F_r} > e$$



Bestimmung des Radialfaktors X für einzelne Lagerarten

- Für Lagerarten, die ausschließlich für die Aufnahme von Radialkräften geeignet sind (Rollerlager, Nadellager) ist $X = 1$.
- Für Lagerarten, die ausschließlich für die Aufnahme von Axiallasten geeignet sind (Axialrollerlager) ist $X = 0$.



Bestimmung des Radialfaktors Y für einzelne Lagerarten

- Für einzelne Rillenkugellager, Schrägkugellager sowie einreihige Pendelrollenlager finden wir einige Richtwerte für den Axialfaktor Y in der nachfolgenden Tabelle...



Bestimmung des Radialfaktors Y für einzelne Lagerarten

Lagerart		e	$F_a/F_r \leq e$	$F_a/F_r > e$
	F_a/C_0		Y	Y
Rillenkugellager ein- und zweireihig				
	0,025	0,22	0	2
	0,04	0,24		1,8
	0,07	0,27		1,6
	0,13	0,31		1,4
	0,25	0,37		1,2
	0,5	0,44		1
Schräggugellager				
Reihen 72 und 73 ($\alpha = 40^\circ$)		1,14	0	0,57
paarweise, O- oder X-Anordnung		1,14	0,55	0,93
Reihen 32B, 33B ($\alpha = 25^\circ$)		0,68	0,92	1,41
Reihen 32, 33 ($\alpha = 35^\circ$)		0,95	0,66	1,07
Pendelrollenlager, einreihig				
			9,5	9,5



Lagerstellungsgestaltung

- Je nach Anwendungsfall und unterschiedlicher Axiallastaufnahme eignen sich Lager unterschiedlich gut.
- Das beste Ergebnis erzielt man für gewöhnlich mit einer Kombination von Fest- und Loslager. Dabei werden Axialkräfte nur vom Festlager übernommen und das bzw. die Loslager übernehmen nur die Radialkräfte.
- Die in den Lagern jeweils wirkende äquivalente Lagerbelastung P muss über die real wirkenden Radialkräfte sowie Axialkräfte ermittelt werden und kann dann zur Bestimmung der nominellen Lagerlebensdauer herangezogen werden.



Lagerstellungsgestaltung

- Grundvoraussetzung für eine **Festlager-Loslager-Kombination** ist, dass die das Lager umgebende Konstruktion das **Festlager fixiert** und dem **Loslager** eine **Verschiebbarkeit** erlaubt.
- Weitere wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Festlager-Loslager-Kombination sind:
 - Es muss eine statische Bestimmtheit der Lager vorliegen.
 - Es dürfen keine Zwangskräfte infolge von Wärmedehnungen entstehen.



Lagerstellungsgestaltung

