

## 8. Lagerauslegung

### 8.1 Statische Lagerbelastungen

Wenn Wälzlager im Stillstand, bei langsamen Schwenkbewegungen oder sehr niedrigen Drehzahlen belastet werden, dann ist die Tragfähigkeit nicht durch die Werkstoffermüdung, sondern durch die bleibenden Verformungen an den Kontaktstellen der Wälzkörper bestimmt.

#### Berechnung:

$$P_0 = X_0 * F_r + Y_0 * F_a$$

$P_0$  = äquivalente stat. Lagerbelastung  
 $F_r, F_a$  = radial/axial-Komponente der größten statischen Belastung  
 $X_0/Y_0$  = Radial-/Axialfaktor des Lagers (→ Lagerkatalog)

$$C_0 = s_0 * P_0$$

$C_0$  = statische Tragzahl [N]  
 $s_0$  = statische Tragsicherheit (→ Tabelle unten)  
 $P_0$  = äquivalente statische Lagerbelastung

**Tabelle 5: Richtwerte für die statische Tragsicherheit  $s_0$**

Betriebsweise	Umlaufende Lager						Nicht umlaufende Lager	
	Anforderungen an die Laufruhe		normal		hoch		Kugel-lager	Rollen-lager
	gering	gering	Kugel-lager	Rollen-lager	Kugel-lager	Rollen-lager		
ruhig, erschütterungsfrei	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
stark stoßbelastet <sup>1)</sup>	≥1,5	≥2,5	≥1,5	≥3	≥2	≥4	≥1	≥2

Für Axial-Pendelrollenlager sollte  $s_0 \geq 4$ , für vollrollige Axial-Kegelrollenlager von Druckspindeln in Walzgerüsten  $s_0 \geq 2,5$  und für Zylinder- und Kegelrollenlager mit Stahl-Bolzenkäfigen  $s_0 \geq 2$  sein.

1) Bei Stoßbelastungen nicht näher bekannter Größe sind mindestens die angegebenen Werte in die Formel einzusetzen. Wenn sich die Stoßbelastungen jedoch genauer ermitteln lassen, können die Mindestwerte auch unterschritten werden.

Anhaltswerte: Bei nicht-umlaufenden Lagern	Statische Tragsicherheit
Verstellbare Propellerblätter für Flugzeuge	≥ 0.5
Wehanlagen, Schleusen	≥ 1
Bewegliche Brücken	≥ 1.5
Kranhaken für große Kräne oh. wesentliche, dynamische Zusatzkräfte	≥ 1.5
Kranhaken für kleine Kräne für Massengüter mit verhältnism. großen dynamischen Zusatzkräften	≥ 1.6

## Beachte!

bei RiKuLa (entsprechendes auch bei anderen Lagertypen) :

- Wird  $P_0 < F_r$ , so ist mit  $P_0 = F_r$  zu rechnen
- i.A. sollte  $F_a < 0.5 * C_0$  sein, bei kleinen Lagern auch  $F_a < 0.25 * C_0$

## → Auswahl des richtigen Wälzlagers nach Katalog-angaben $C_0$

[Quelle: SKF – Katalog]

## 8.2 Dynamische Lagerbelastung

Lebensdauergleichung (nach ISO):

$$L_{10h} = 10^6 / (60 * n) * (C/P)^p$$

C : dyn. Tragzahl des Lagers  
 P : äquivalente dynamische Lagerbelastung  
 p : Exponent;  
     bei Punktkontakt am Wälzkörper = 3  
     bei Linienkontakt am Wälzkörper = 10/3  
 L<sub>10h</sub> : nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden

max. 10% Ausfall!!!

$$P = F_r \quad \text{bei } F_a/F_r \leq e$$

$$P = XF_r + YF_a \quad \text{bei } F_a/F_r > e$$

(Für Einzellager und Lagerpaare in Tandem-Anordnung)

P = äquivalente dyn. Lagerbelastung  
 F<sub>r</sub>, F<sub>a</sub> = radial/axial-Komponente der größten statischen

### Zur Bestimmung der Faktoren X,Y und e :

(f<sub>0</sub> bei Lager angegeben; im SKF-Katalog auch Angaben Ohne f<sub>0</sub> möglich, dann andere Faktoren)

**Tabelle 5: Berechnungsfaktoren für Einzellager und Lagerpaare in Tandem-Anordnung**

f <sub>0</sub> F <sub>R</sub> /C <sub>0</sub>	Lagerluft Normal			Lagerluft C3			Lagerluft C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
<b>0,31</b>	0,22	0,56	2	0,31	0,46	1,75	0,4	0,44	1,42
<b>0,48</b>	0,24	0,56	1,8	0,33	0,46	1,62	0,42	0,44	1,36
<b>0,86</b>	0,27	0,56	1,6	0,36	0,46	1,46	0,44	0,44	1,27
<b>1,6</b>	0,31	0,56	1,4	0,41	0,46	1,3	0,48	0,44	1,16
<b>3,1</b>	0,37	0,56	1,2	0,46	0,46	1,14	0,53	0,44	1,05
<b>6,2</b>	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

### Vorgehensweise:

- wähle Lager aus (willkürlich)#
- berechne aus den Faktoren f<sub>0</sub>, F<sub>A</sub>, C<sub>0</sub> den entsprechenden Faktor
- Berechne Belastungsverhältnis F<sub>a</sub>/F<sub>r</sub>; vergleich mit e und berechne dann P
- mit P und C berechne Lebensdauer!

## Richtwerte für die Lebensdauer

**Tabelle 1: Richtwerte für die erforderliche nominelle Lebensdauer  $L_{10h}$  bei verschiedenen Maschinenarten**

Maschinenart	$L_{10h}$ Betriebsstunden
Haushaltsmaschinen, landwirtschaftliche Maschinen, Instrumente, medizinisch-technische Geräte	300 ... 3 000
Maschinen für kurzzeitigen oder unterbrochenen Betrieb: Elektro-Handwerkzeuge, Montagekrane, Baumaschinen	3 000 ... 8 000
Maschinen für kurzzeitigen oder unterbrochenen Betrieb mit hohen Anforderungen an die Betriebssicherheit: Aufzüge, Stückgutkrane	8 000 ... 12 000
Maschinen für täglich achtstündigen Betrieb, die nicht stets voll ausgelastet werden: Zahnradgetriebe für allgemeine Zwecke, ortsfeste Elektromotoren, Kreiselbrecher	10 000 ... 25 000
Maschinen für täglich achtstündigen Betrieb, die voll ausgelastet werden: Werkzeugmaschinen, Holzbearbeitungsmaschinen, Maschinen für Fabrikationsbetriebe, Krane für Massengüter, Gebläse, Förderbandrollen, Druckereimaschinen, Separatoren und Zentrifugen	20 000 ... 30 000
Maschinen für Tag- und Nachtbetrieb: Walzwerksgetriebe, mittelschwere Elektromaschinen, Kompressoren, Grubenaufzüge, Pumpen, Textilmaschinen	40 000 ... 50 000
Maschinenanlagen in Wasserwerken, Drehöfen, Rohrschnellverseilmaschinen, Getriebe für Hochseeschiffe	60 000 ... 100 000
Maschinen für Tag- und Nachtbetrieb mit hohen Anforderungen an die Betriebssicherheit: Groß-Elektromaschinen, Kraftanlagen, Grubenpumpen und -gebläse, Lauflager für Hochseeschiffe	> 100 000

**Tabelle 2: Richtwerte für die erforderliche Lebensdauer  $L_{10s}$  bei Straßen- und Schienenfahrzeugen**

Art des Fahrzeugs	$L_{10s}$ $10^6$ km
<b>Radlagerungen für Straßenfahrzeuge:</b>	
Personenkraftwagen	0,3
Lastkraftwagen, Omnibusse	0,6
<b>Radsatzlagerungen für Schienenfahrzeuge:</b>	
Güterwagen (nach UIC bei ständig wirkender größter Radlast)	0,8
Nahverkehrsfahrzeuge, Straßenbahnen	1,5
Reisezugwagen für Fernverkehr	3
Triebwagen für Fernverkehr	3 ... 4
Diesel- und Elektrolokomotiven für Fernverkehr	3 ... 5

## Modifizierte nominelle Lebensdauer nach ISO:

Modifizierte, nominelle Lebensdauer (nach SKF):

$$L_{10h,na} = 10^6 / (60 * n) * (C/P)^p * a_1 * a_2 * a_3$$

- $L_{na}$  die modifizierte nominelle Lebensdauer, Millionen Umdrehungen  
 (Der Index n bezeichnet die Differenz zwischen der geforderten Erlebenswahrscheinlichkeit und 100 %, wobei unter Erlebenswahrscheinlichkeit die Wahrscheinlichkeit zu verstehen ist, mit der ein Lager eine bestimmte Lebensdauer erreicht oder überschreitet).
- $a_1$  ein Beiwert für die Erlebenswahrscheinlichkeit
- $a_2$  ein Beiwert für den Werkstoff
- $a_3$  ein Beiwert für die Betriebsbedingungen
- C die dynamische Tragzahl, N
- P die äquivalente dynamische Lagerbelastung, N
- p der Exponent der Lebensdauergleichung,  
 für Kugellager:  $p = 3$   
 für Rollenlager:  $p = 10/3$
- $L_{10}$  die nominelle Lebensdauer, Millionen Umdrehungen

### Beiwerte:

#### $a_1$ – Erlebenswahrscheinlichkeit

Der Beiwert  $a_1$ , wird zur Ermittlung von Lebensdauern verwendet, die mit größerer Wahrscheinlichkeit als 90 % erreicht oder überschritten werden sollen.

Tabelle 3: Beiwert  $a_1$

Erlebenswahrscheinlichkeit %	$L_{na}$	$a_1$
90	$L_{10a}$	1
95	$L_{5a}$	0,62
96	$L_{4a}$	0,53
97	$L_{3a}$	0,44
98	$L_{2a}$	0,33
99	$L_{1a}$	0,21

#### $a_2$ – Werkstoff, $a_3$ – Betriebsbedingungen, $a_{23}$

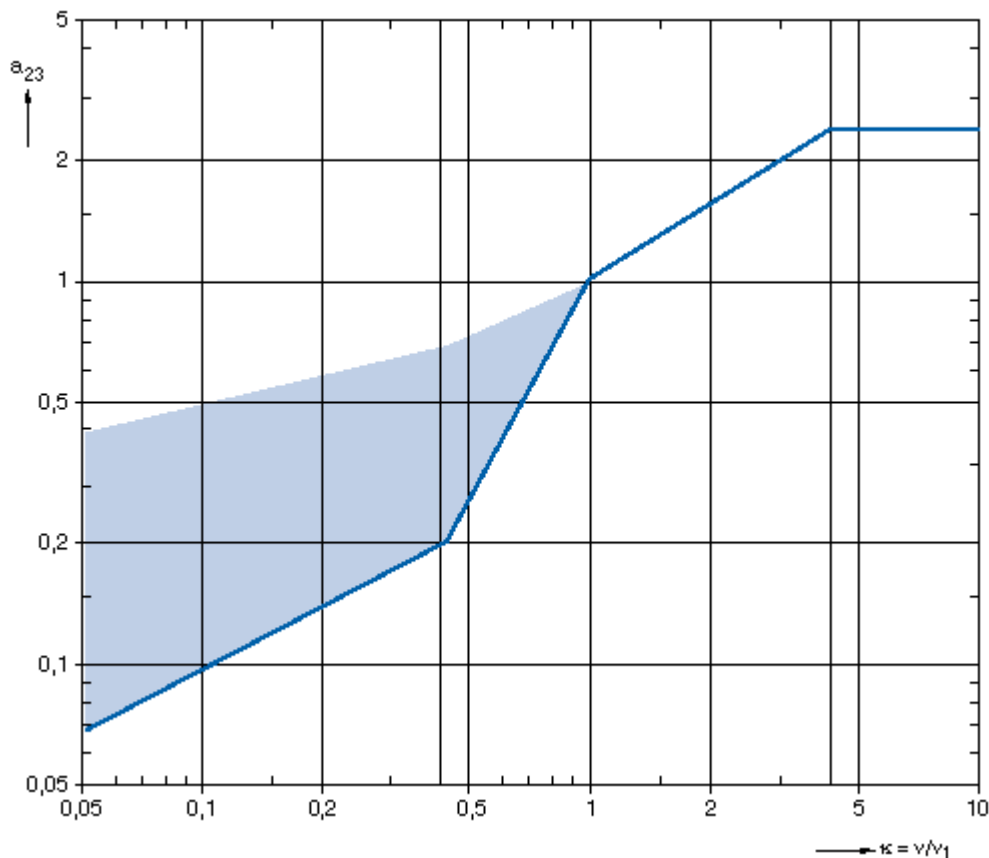
Der Werkstoffbeiwert wird wg. der hohen Qualität meist auf 1 gesetzt.

Der Betriebsbeiwert hängt von der Temperatur und dem verwendeten Schmiermittel ab. Häufig wird deshalb ein vereinfachter Beiwert  $a_{23}$  verrechnet:

Normale Sauberkeit vorausgesetzt, gelten die in Diagramm 1 in Abhängigkeit von  $\kappa = v/v_1$  angegebenen Werte für  $a_{23}$ . Werden Schmierstoffe mit EP-Zusätzen u.ä. verwendet, können im Bereich  $\kappa < 1$  höhere Werte erreicht werden (Rasterfeld). Nähere Angaben über den Einfluß von EP-Zusätzen auf die Lebensdauer siehe Belastbarkeit im Abschnitt Schmierung und Wartung

$\kappa$  sollte zwischen 1..4 liegen, sonst Reibung zu hoch!

**Diagramm 1:**



## Berechnungsbeispiel für einen Schmieröl:

Ein einreihiges Rillenkugellager 61868 TN9 mit Bohrungsdurchmesser  $d = 340 \text{ mm}$  und Außendurchmesser  $D = 420 \text{ mm}$  läuft bei einer Betriebsdrehzahl  $n = 500 \text{ min}^{-1}$ .

Nach der Berechnung erforderliche Viskosität ist bei  $d_m = 0,5 (d + D) = 380 \text{ mm}$  für eine ausreichende Schmierung bei Betriebstemperatur eine Mindestviskosität  $\nu_1 = 13 \text{ mm}^2/\text{s}$  erforderlich.

Für eine angenommene Betriebstemperatur des Lagers von  $70 \text{ °C}$  folgt dann, daß das Öl bei der Bezugstemperatur  $40 \text{ °C}$  eine Mindestviskosität von  $39,3 \text{ mm}^2/\text{s}$  haben muss.

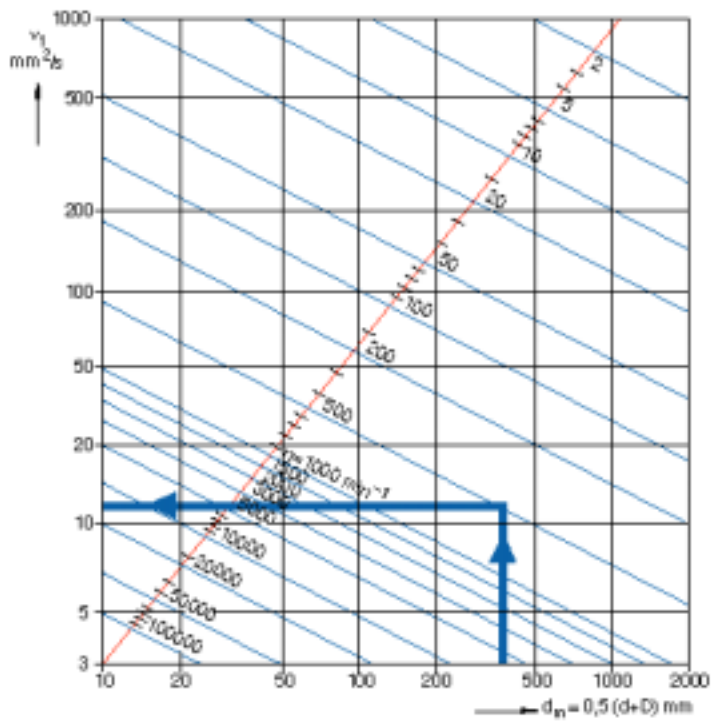
Bezugstemperatur von  $40 \text{ °C}$  ist international festgelegt.

## Berücksichtigung erhöhter Temperatur

Liegt die Betriebstemperatur über  $125 \text{ °C}$ , so muß die Temperatur wg. der reduzierten Werkstoffhärte (Tragzahl) berücksichtigt werden:

$C_{\text{neu}} = C * f_{\text{th}}$	
mit:	
$f_{\text{th}}$	: Faktor $200 \text{ °C} \rightarrow 0.9$ $300 \text{ °C} \rightarrow 0.6$
$C$	: Tragzahl des Lagers

**Diagramm 2** Erforderliche kinematische Viskosität bei Betriebstemperatur



**Diagramm 3** Erforderliche kinematische Viskosität bei Bezugstemperatur

