

Technische Informationen

Material	4
Lagerluft und Betriebsspiel	4
Einbautoleranzen	6
Maß-, Form- und Lagetoleranzen	9
Käfige	16
Dichtungen/Deckscheiben	16
Schmierung	17
Tragfähigkeit und Lebensdauer	19
Reibung und Erwärmung	22

1. Material

Im Wälzkontakt zwischen Kugel und Laufbahn können sehr hohe Flächenpressungen von bis zu 4.000 N/mm² auftreten.

Aufgrund der gewählten Passungen an Gehäuse und Welle können diese verändert und lokal weiter verstärkt werden.

Durch unzureichende Schmierung sowie in den Wälzkontakt eingebrachte Verunreinigungen kann es zu einer Materialerwärmung und zum Verschleiß kommen.

Anwendungsbezogen werden oftmals Kugellager aus korrosionsbeständigem Stahl benötigt.

Das zur Herstellung von Kugellagern verwendete Material muss daher neben sehr guten Festigkeitseigenschaften, einer hohen Härte und Zähigkeit auch beste Verschleiß-eigenschaften besitzen.

Zur Vermeidung dauerhafter Maß- und Formveränderungen muss es speziell temperiert werden und darf dabei nicht nennenswert an Härte und in Folge an Tragzahl verlieren.

Dies gilt auch für Lager aus korrosionsbeständigem Stahl, welcher bis 300°C form- und maßstabil ist.

In der Standardausführung wird durchgehärteter Chromstahl 100Cr6 für Ringe und Kugeln verwendet. In diesem Fall beträgt die Härte der Ringe nach der Wärmebehandlung 60 bis 64 HRC, diejenige der Kugeln 62 bis 65 HRC. Für die rostbeständigen Lager werden die Innen- und Außenringe aus X65Cr13 oder X105CrMo17 hergestellt. Für die Kugeln wird ein rostfreier Stahl SUS440C verwendet. Bei extremen Beanspruchungen bezüglich Korrosion, bieten wir Ihnen hochstickstoffhaltige Lager (HNS) mit optimierter Wärmebehandlung an. Diese verfügen zusätzlich über eine höhere Härte und Zähigkeit und zeichnen sich in korrosiven Umgebungen durch eine optimale Lebensdauer aus.

1.1 Einfluss des Wälzlagerstahls auf die Lagerlebensdauer

Für das Erreichen einer hohen Ermüdungslebensdauer ist neben den geometrischen Eigenschaften des Wälzlagers insbesondere auch der Reinheitsgrad des verwendeten Stahls von besonderer Bedeutung.

Nichtmetallische Einschlüsse oxidischer, sulfidischer oder silikatischer Art im Stahl lassen bei Wälzbelastung erhöhte Spannungs- und Verformungskonzentrationen entstehen und können die tatsächliche Lebensdauer eines Lagers erheblich herabsetzen. SBN verwendet daher ausschließlich Stähle, bei denen diese Einschlüsse durch Vakuumgasung auf ein Minimum reduziert wurden. Diese Stähle zeigen ihre besondere Stärke vor allem in Anwendungen ohne Oberflächenverschleiß, d.h. bei guten Schmierungsbedingungen und sauberer Umgebung.

Wälzlager, die auf Grund von ungenügenden Schmierungsbedingungen oder Verschmutzungen nur geringe Lebensdauern erreichen, können durch den Einsatz eines besonderen Härteverfahrens verschleißresistenter werden. Bitte konsultieren Sie für eine ausführliche Beratung die SBN Anwendungsingenieure.

Eine kontinuierliche Qualitätsüberwachung im Werk stellt in allen Fällen eine gleichbleibend gute Qualität sicher.

2. Lagerluft und Betriebsspiel

Die einwandfreie Funktion eines Kugellagers hängt in hohem Maße von dem richtigen Betriebsspiel ab. Das Betriebsspiel ergibt sich aus der Lagerluft in nicht eingebautem Zustand und deren Veränderung durch Passungsübermaß und Temperatureinflüssen im eingebauten Zustand.

2.1. Radiale Lagerluft für Radialrillenkugellager

Die radiale Lagerluft eines Wälzlagers ist das Maß, um das sich der Innenring gegenüber dem Außenring des nicht eingebauten Lagers in radialer Richtung von einer Grenzstellung zur gegenüber liegenden verschieben lässt. Die radiale Lagerluft ist in 5 Gruppen eingeteilt (siehe Tabelle 1: Gruppen der radialen Lagerluft). Kugellager mit normaler Lagerluft CN haben ein für normale Betriebsverhältnisse funktionsgerechtes Betriebsspiel, sofern die empfohlenen Wellen- und Gehäusetoleranzen eingehalten werden.

Lagerluft C3, C4 oder C5 kommt vor allem bei größeren und bei hochbelasteten Lagern in Betracht, aber auch bei Presspassungen der Ringe oder höheren Temperaturgefällen zwischen Innen- und Außenring.

Lager mit Lagerluft C2 sollten nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden, z.B. bei starken Wechselbelastungen in Verbindung mit Schwenkbewegungen oder geringen Drehzahlen. In solchen Fällen empfiehlt sich eine sorgfältige Überwachung der Lager während des Betriebes, da mit starker Erwärmung zu rechnen ist. Die Lagerluft wird durch Nachsetzzeichen gekennzeichnet, ausgenommen CN bzw. MC3 bei Miniaturkugellagern.

Bereich	Bedeutung
C2	radiale Lagerluft kleiner CN
CN	radiale Lagerluft normal
C3	radiale Lagerluft größer CN
C4	radiale Lagerluft größer C3
C5	radiale Lagerluft größer C4

Tabelle 1: Gruppen der radialen Lagerluft

Bohrung		radiale Lagerluft											
d		MC1		MC2		MC3		MC4		MC5		MC6	
[mm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]	
über	bis	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0,6	6	0	5	3	8	5	10	8	13	13	20	20	28

Tabelle 2: Radiale Lagerluft für Präzisions-Miniaturkugellager

Bohrung		radiale Lagerluft									
d		C2		CN		C3		C4		C5	
[mm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]	
über	bis	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
-	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120

Tabelle 3: Radiale Lagerluft für einreihige Rillenkugellager

Bohrung		CN	
d		[μm]	
über	bis	min.	max.
6	10	6	17
10	14	6	19
14	18	8	21
18	24	10	23
24	30	11	24
30	40	13	29

Tabelle 4: Radiale Lagerluft für zweireihige Pendelkugellager mit zylindrischer Bohrung

2.2 Axiale Lagerluft für zweireihige Schrägkugellager

Bei zweireihigen Schrägkugellagern (Baureihe 30/., 38., 30., 32.) ist die axiale Lagerluft über die DIN-Norm 628-3 festgelegt. Die Gruppeneinteilung erfolgt wie bei den Rillenkugellagern in C2, CN, C3.

Bohrung		axiale Lagerluft					
d		C2		CN		C3	
[mm]		[μm]		[μm]		[μm]	
über	bis	min.	max.	min.	max.	min.	max.
-	10	1	11	5	21	12	28
10	18	1	12	6	23	13	31
18	24	2	14	7	25	16	34
24	30	2	15	8	27	18	37
30	40	2	16	9	29	21	40
40	50	2	18	11	33	23	44
50	65	3	22	13	36	26	48
65	80	3	24	15	40	30	54
80	100	3	26	18	46	35	63
100	120	4	30	22	53	42	73

Tabelle 5: Axiale Lagerluft für zweireihige Schrägkugellager

2.3. Radiales Betriebsspiel

Als Betriebsspiel eines Kugellagers wird das Maß bezeichnet, um das sich die Welle gegenüber dem Außenring des eingesetzten Lagers in radialer Richtung verschieben lässt. Das Betriebsspiel ergibt sich aus der radialen Lagerluft und deren Veränderung durch Passungsübermaß und Temperatureinflüsse.

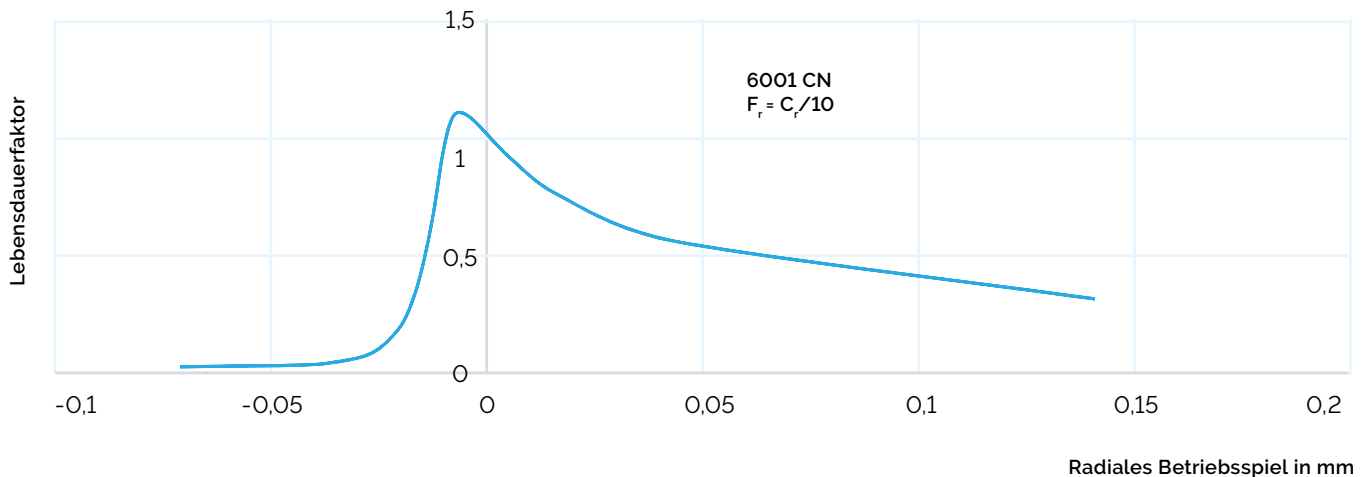
Die Lebensdauergleichung (Seite 25 und 27) basiert auf der Annahme, dass das Betriebsspiel Null beträgt. In diesem Fall hat das Betriebsspiel keinen Einfluss auf die Lagerlebensdauer. In allen anderen Fällen gibt es einen Einfluss.

Die höchste Lebensdauer kann bei einer geringen Vorspannung erreicht werden, da hierbei die Lagersteifigkeit

erhöht und die Last auf mehrere Wälzkörper verteilt wird. Steigt die Vorspannung zu stark an, sinkt die Lebensdauer in Folge interner Kräfte schnell auf einen kritischen Wert. Ein zu großes Betriebsspiel wiederum kann zu einer ungenügenden Lastverteilung und vermehrter Gleitreibung führen.

Der Einfluss eines Betriebsspiels auf die Lebensdauer kann der untenstehenden Grafik am Beispiel eines Rillenkugellagers 6001 CN entnommen werden.

Für die Berechnung Ihres konkreten Anwendungsfalls konsultieren Sie bitte die SBN Anwendungsingenieure.



3. Einbautoleranzen

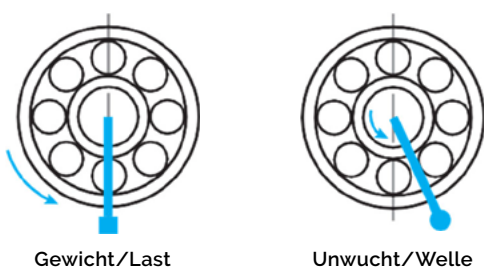
Ein Wälzlager kann nur dann seine volle Tragfähigkeit entfalten, wenn es korrekt auf der Welle und im Gehäuse befestigt ist. Hierbei spielen die Belastungs- und Umlaufverhältnisse in der jeweiligen Anwendung eine wesentliche Rolle.

So neigen Wälzlageringe mit umlaufenden Lasten und losen Passungen zum Wandern. Tribokorrosion, Laufgeräusche und Beschädigungen an Welle oder Gehäuse sind

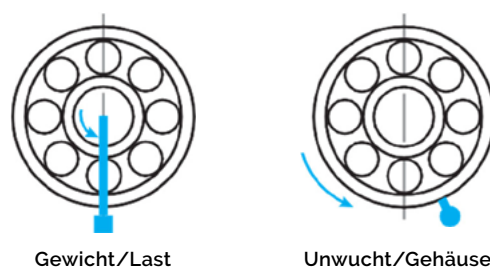
die Folgen. Miniaturkugellager und Lager mit sehr dünnwandigen Ringen können durch die Wahl einer zu festen Passung sehr leicht vorgespannt werden. Die Vorspannung (negatives Betriebsspiel) beeinflusst die zu erwartende Lebensdauer und die Laufruhe der Lagerung.

Für die richtige Auswahl der geeigneten Einbautoleranzen gilt es die nachfolgenden Lastfälle zu unterscheiden:

Punktlast am Innenring/Umfanglast am Außenring



Umfanglast am Innenring/Punktlast am Außenring



Die folgenden Tabellen enthalten allgemeine Richtlinien für die Auswahl geeigneter Wellen und Gehäusepassungen in Abhängigkeit der Belastungs- und Umlaufverhältnisse.

3.1. Wellentoleranzen

Umlaufverhältnis	Wellendurchmesser d [mm]	Montage des Innenrings und Belastung	ISO-Toleranzfeld
Punktlast am Innenring	alle Größen	Innenring leicht verschiebbar	g5, g6
		Innenring nicht leicht verschiebbar	h6, j6
Umfanglast am Innenring und unbestimmte Lastrichtung	≤ 50	niedrige Belastung $P/C_r < 0,1$	j5, j6
		niedrige Belastung $P/C_r < 0,8$	j6
	50 bis 100	normale und hohe Belastung $P/C_r > 0,8$	k5, k6
		niedrige Belastung $P/C_r < 0,1$	k6, m6
		100 bis 200	normale und hohe Belastung $P/C_r > 0,1$

Tabelle 6: Richtlinien für die Auswahl der Wellentoleranzen. Gültig für Vollwellen aus Stahl

3.2. Gehäusetoleranzen

Umlaufverhältnis	Montage des Außenrings	Ausführung des Gehäuses und Belastung	ISO-Toleranzfeld
Punktlast am Außenring	Außenring leicht verschiebbar	ungeteiltes Gehäuse	H6, H7
		geteiltes Gehäuse	H7, H8
	Außenring nicht leicht verschiebbar	Wärmezufuhr über Welle	G7
ungeteiltes Gehäuse		J6	
geteiltes Gehäuse		J7	
Umfanglast am Außenring und unbestimmte Lastrichtung	Außenring nicht verschiebbar	niedrige und normale Belastung	K7
		normale Belastung mit Stößen und große Belastung	M7
		hohe Belastung mit Stößen $P/C_r > 0,15$	N7

Tabelle 7: Richtlinien für die Auswahl der Gehäusetoleranzen. Gültig für Gehäuse aus Stahl oder Gusseisen

Wird für die Anschlusskonstruktion ein anderer Werkstoff verwendet, müssen für den Festsitz folgende physikalische Größen zusätzlich berücksichtigt werden.

- Elastizitätsmodul
- Wärmeausdehnungskoeffizient
- Querkontraktionszahl

Dies gilt insbesondere für Gehäuse oder Wellen aus Aluminium, dünnwandige Gehäuse und Hohlwellen.

3.3. Einbautoleranzen Axiallager

	Welle/Gehäuse	Toleranz
einseitig wirkend	Wellentoleranz	j6
zweiseitig wirkend	Wellentoleranz	k6
	Aufnahmebohrung	E8
Für hohe Genauigkeit	Aufnahmebohrung	H6

Tabelle 8: Richtlinien für die Auswahl der Wellen-/Aufnahmetoleranzen

3.4. Einbautoleranzen Nadelhülsen

Welle/Gehäuse	Material	Toleranz
Welle	Stahl	h6
Gehäuse	Aluminium	R6
	Magnesium	S6
	Stahl/Guß	N6

Tabelle 9: Richtlinien für die Auswahl der Gehäuse-/Wellentoleranzen

3.5. Gehäuse- & Wellenpassungen

Die Zahlenwerte zu den Passungen gelten für Vollwellen aus Stahl und für Gussgehäuse

Gehäusepassungen										
Nennmaß der Gehäusebohrung in mm										
	über	-	3	6	10	18	30	50	80	120
	bis	3	6	10	18	30	50	80	120	150
Abweichung Lageraußendurchmesser in µm (Normaltoleranz)										
ΔDmp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-8	-8	-8	-8	-9	-11	-13	-15	-18	
Gehäusetoleranz in µm										
G7	12	16	20	24	28	34	40	47	54	
	2	4	5	6	7	9	10	12	14	
H6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
J6	2	5	5	6	8	10	13	16	18	
	-4	-3	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-7	
J7	4	6	8	10	12	14	18	22	26	
	-6	-6	-7	-8	-9	-11	-12	-13	-14	
K7	0	3	5	6	6	7	9	10	12	
	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-28	
M7	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	-12	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	
N7	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	
	-14	-16	-19	-23	-28	-33	-39	-45	-52	

Tabelle 10: ISO-Toleranzen

Wellenpassungen										
Nennmaß der Welle in mm										
	über	-	3	6	10	18	30	50	65	80
	bis	3	6	10	18	30	50	65	80	100
Abweichung Lagerbohrungsdurchmesser in µm (Normaltoleranz)										
ΔDmp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-8	-8	-8	-8	-10	-12	-15	-15	-20	
Wellentoleranz in µm										
g5	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-10	-12	
	-6	-9	-11	-14	-16	-20	-23	-23	-27	
g6	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-10	-12	
	-8	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-29	-34	
h6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-19	-22	
j5	2	3	4	5	5	6	6	6	6	
	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-7	-9	
j6	4	6	7	8	9	11	12	12	13	
	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-7	-9	
k5	4	6	7	9	11	13	15	15	18	
	0	1	1	1	2	2	2	2	3	
k6	6	9	10	12	15	18	21	21	25	
	0	1	1	1	2	2	2	2	3	
m6	8	12	15	18	21	25	30	30	35	
	2	4	6	7	8	9	11	11	13	

4. Maß-, Form- und Lagetoleranzen

Die Toleranzen unserer Kugellager entsprechen DIN 620-2 und DIN 620-3. Die Genauigkeiten entsprechen der Toleranzklasse PN. Für Lager mit höherer Genauigkeit sind die Toleranzen auf die Werte der Toleranzklassen P6, P5 und P4 eingengt.

4.1. Kantenabstände für Radial-Kugellager und Axial-Kugellager

Die aufgeführten Kantenabstände entsprechen den in DIN 620-6, ISO 582 vereinbarten Festlegungen (Abbildung 2: Kantenabstände, Tabelle 8: Grenzwerte der Kantenabstände – Toleranzwerte in mm)

Es wird das Kleinmaß des Kantenabstandes angegeben. Bei Axial-Rillenkugellagern sind die Toleranzen für die Kantenabstände in axialer Richtung gleich denen in radialer Richtung.

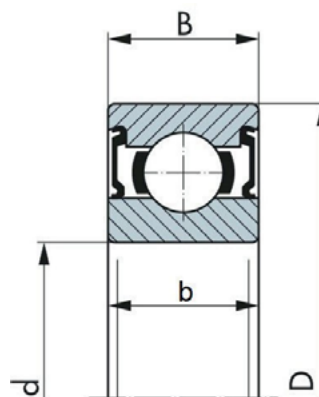


Abbildung 1: Hauptabmessungen

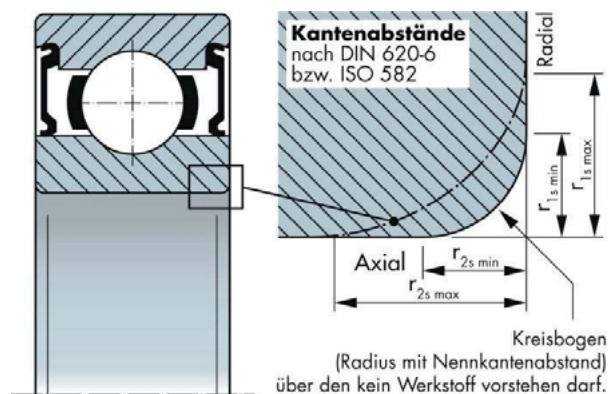


Abbildung 2: Kantenabstände

Nennkantenabstand	Lagerbohrung		Grenzwerte der Kantenabstände			
	d	d	Radial		Axial	
$r_{1s \min}$	über	bis	$r_{1s \min}$	$r_{1s \max}$	$r_{2s \min}$	$r_{2s \max}$
0,05	-	-	0,05	0,10	0,05	0,2
0,08	-	-	0,08	0,16	0,08	0,3
0,10	-	-	0,10	0,20	0,10	0,4
0,15	-	-	0,15	0,30	0,15	0,6
0,20	-	-	0,20	0,50	0,20	0,8
0,30	-	40	0,30	0,60	0,30	1,0
	40	-	0,30	0,80	0,30	1,0
0,6	-	40	0,60	1,00	0,60	2,0
	40	-	0,60	1,30	0,60	2,0
1,00	-	50	1,00	1,50	1,00	3,0
	50	-	1,00	1,90	1,00	3,0
1,10	-	120	1,10	2,00	1,10	3,5
	120	-	1,10	2,50	1,10	4,0

Tabelle 11: Grenzwerte der Kantenabstände Toleranzwerte in mm

4.2. Maß-, Form- und Lagetoleranzen nach DIN 620 – Radial-Kugellager

Maßbuchstabe	Tolerierte Eigenschaft nach DIN ISO 1132/ DIN 620	DIN ISO 1101 Bezeichnung Symbol
d	Nenndurchmesser der Bohrung	-
Δ_{dmp}	Abweichung des mittleren Bohrungsdurchmessers in einer Ebene	-
V_{dp}	Schwankung des Bohrungsdurchmessers in einer einzelnen radialen Ebene	Rundheit $\text{O}^{1)}$
V_{dmp}	Schwankung des mittleren Bohrungsdurchmessers	Parallelität //
D	Nennaußendurchmesser	-
Δ_{Dmp}	Abweichung des mittleren Außendurchmessers in einer Ebene	-
V_{Dp}	Schwankung des Außendurchmessers in einer einzelnen radialen Ebene	Rundheit $\text{O}^{1)}$
V_{Dmp}	Schwankung des mittleren Außendurchmessers	Parallelität //
B	Nennbreite des Innenrings	-
Δ_{Bs}	Abweichung einer einzelnen Innenringbreite	-
V_{Bs}	Schwankung der Innenringbreite	Parallelität //
C	Nennbreite des Außenrings	-
Δ_{Cs}	Abweichung einer einzelnen Außenringbreite	-
V_{Cs}	Schwankung der Außenringbreite	Parallelität //
d	Nenndurchmesser der Bohrung	-
K_{ia}	Rundlauf des Innenrings am zusammengebauten Lager	Rundlauf ↗
K_{ea}	Rundlauf des Außenrings am zusammengebauten Lager	Rundlauf ↗
S_d	Planlauf der Stirnseite in Bezug auf die Bohrung	Planlauf ↗
S_D	Schwankung der Neigung der Mantellinie bezogen auf die Bezugsseitenfläche	Planlauf ↗
S_e	Schwankung der Scheibendicke der Gehäusescheibe bei Axiallagern (Axialschlag)	-
S	Planlauf der Stirnseite in Bezug auf die Laufbahn des Außenrings am zusammengebauten Lager	Planlauf ↗
S_i	Schwankung der Scheibendicke der Wellenscheibe bei Axiallagern (Axialschlag)	-
S_{ia}	Planlauf der Stirnseite in Bezug auf die Laufbahn des Außenrings am zusammengebauten Lager	Planlauf ↗

Tabelle 12: Maßbuchstaben und Toleranzsymbole

¹⁾ Die Rundheit nach DIN ISO 1101 entspricht dem halben Toleranzwert der Schwankung der Einzeldurchmesser V_{dp} bzw. V_{Dp} nach DIN 620

Toleranzklasse PN – Normaltoleranz

d		Δ_{dmp}		V_{dp}			V_{dmp}	K_{ia}	Δ_{Bs}		V_{Bs}
für Durchmesserreihe nach DIN 616											
[mm]		Abmaß		7,8,9	0,1	2,3,4			Abmaß		
über	bis	oberes	unteres		max.		max.	max.	oberes	unteres	max.
0,6 ¹⁾	2,5	0	-8	10	8	6	6	10	0	-40	12
2,5	10	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	15
10	18	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	20
18	30	0	-10	13	10	8	8	13	0	-120	20
30	50	0	-12	15	12	9	9	15	0	-120	20
50	80	0	-15	19	19	11	11	20	0	-150	25
80	120	0	-20	25	25	15	15	25	0	-200	25
120	180	0	-25	31	31	19	19	30	0	-250	30

Tabelle 13: Innenring – Toleranzwerte in μm

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp}			$V_{Dmp}^{2)}$	K_{ea}	Δ_{Cs}	V_{Cs}
Nicht abgedichtete Lager für Durchmesserreihe nach DIN 616					Lager mit Deck- oder Dichtschreiben					
[mm]		Abmaß		7,8,9	0,1	2,3,4				
über	bis	oberes	unteres		max.		max.	max.	max.	
2,5 ¹⁾	6	0	-8	10	8	6	10	6	15	
6	18	0	-8	10	8	6	10	6	15	
18	30	0	-9	12	9	7	12	7	15	
30	50	0	-11	14	11	8	16	8	20	identisch mit Δ_{Bs} und V_{Bs} für Innenring des selben Lagers (siehe Tabelle 13)
50	80	0	-13	16	13	10	20	10	25	
80	120	0	-15	19	19	11	26	11	35	
120	150	0	-18	23	23	14	30	14	40	
150	180	0	-25	31	31	19	38	19	45	
180	250	0	-30	38	38	23	-	23	50	
250	315	0	-35	44	44	26	-	26	60	

Tabelle 14: Außenring – Toleranzwerte in μm

¹⁾ Dieser Durchmesser ist eingeschlossen

²⁾ Gilt vor dem Zusammenbau des Lagers und nachdem innere und/oder äußere Sprengringe entfernt sind

Toleranzklasse P6 – Eingegengte Toleranz

d		Δ_{dmp}		V_{dp}			V_{dmp}	K_{ia}	Δ_{Bs}		V_{Bs}
für Durchmesserreihe nach DIN 616											
[mm]		Abmaß		7,8,9	0,1	2,3,4			Abmaß		
über	bis	oberes	unteres		max.		max.	max.	oberes	unteres	max.
0,6 ¹⁾	2,5	0	-7	9	7	5	5	5	0	-40	12
2,5	10	0	-7	9	7	5	5	6	0	-120	15
10	18	0	-7	9	7	5	5	7	0	-120	20
18	30	0	-8	10	8	6	6	8	0	-120	20
30	50	0	-10	13	10	8	8	10	0	-120	20
50	80	0	-12	15	15	9	9	10	0	-150	25
80	120	0	-15	19	19	11	11	13	0	-200	25
120	180	0	-18	23	23	14	14	18	0	-250	30

Tabelle 15: Innenring – Toleranzwerte in μm

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp}			$V_{Dmp}^{2)}$	K_{ea}	Δ_{Cs}	V_{Cs}
				Nicht abgedichtete Lager für Durchmesserreihe nach DIN 616			Lager mit Deck- oder Dichtscheiben			
[mm]		Abmaß		7,8,9	0,1	2,3,4				
über	bis	oberes	unteres		max.		max.	max.	max.	
2,5 ¹⁾	6	0	-7	9	7	5	9	5	8	identisch mit Δ_{Bs} und V_{Bs} für Innenring des selben Lagers (siehe Tabelle 15)
6	18	0	-7	9	7	5	9	5	8	
18	30	0	-8	10	8	6	10	6	9	
30	50	0	-9	11	9	7	13	7	10	
50	80	0	-11	14	11	8	16	8	13	
80	120	0	-13	16	16	10	20	10	18	
120	150	0	-15	19	19	11	25	11	20	
150	180	0	-18	23	23	14	30	14	23	
180	250	0	-20	25	25	15	-	15	25	
250	315	0	-25	31	31	19	-	19	30	

Tabelle 16: Außenring – Toleranzwerte in μm

¹⁾ Dieser Durchmesser ist eingeschlossen

²⁾ Gilt vor dem Zusammenbau des Lagers und nachdem innere und/oder äußere Sprengringe entfernt sind

Toleranzklasse P5 – Eingengte Toleranz

d		Δ_{dmp}		V_{dp}	V_{dmp}	K_{ia}	S_d	$S_{in}^{2)}$	Δ_{Bs}	V_{Bs}		
für Durchmesserreihe nach DIN 616												
[mm]		Abmaß		7,8,9	0,1,2,3,4					Abmaß		
über	bis	oberes	unteres	max.	max.	max.	max.	max.	max.	oberes	unteres	max.
0,6 ¹⁾	2,5	0	-5	5	4	3	4	7	7	0	-40	5
2,5	10	0	-5	5	4	3	4	7	7	0	-40	5
10	18	0	-5	5	4	3	4	7	7	0	-80	5
18	30	0	-6	6	5	3	4	8	8	0	-120	5
30	50	0	-8	8	6	4	5	8	8	0	-120	5
50	80	0	-9	9	7	5	5	8	8	0	-150	6
80	120	0	-10	10	8	5	6	9	9	0	-200	7
120	180	0	-13	13	10	7	8	10	10	0	-250	8

Tabelle 17: Innenring – Toleranzwerte in μm

D		Δ_{Dmp}		$V_{Dp}^{3)}$	$V_{Dmp}^{2)}$	K_{ea}	S_D	$S_{sa}^{2)}$	Δ_{Cs}	V_{Cs}
für Durchmesserreihe nach DIN 616										
[mm]		Abmaß		7,8,9	0,1,2,3,4					
über	bis	oberes	unteres	max	max.	max.	max.	max.		max.
2,5 ¹⁾	6	0	-5	5	4	3	5	8	8	5
6	18	0	-5	5	4	3	5	8	8	5
18	30	0	-6	6	5	3	6	8	8	5
30	50	0	-7	7	5	4	7	8	8	5
50	80	0	-9	9	7	5	8	8	10	6
80	120	0	-10	10	8	5	10	9	11	8
120	150	0	-11	11	8	6	11	10	13	8
150	180	0	-13	13	10	7	13	10	14	8
180	250	0	-15	15	11	8	15	11	15	10
250	315	0	-18	18	14	9	18	13	18	11

identisch mit Δ_{Bs} und V_{Bs} für Innenring des selben Lagers (siehe Tabelle 17)

Tabelle 18: Außenring – Toleranzwerte in μm

¹⁾ Dieser Durchmesser ist eingeschlossen

²⁾ Gilt vor dem Zusammenbau des Lagers und nachdem innere und/oder äußere Sprengringe entfernt sind

³⁾ Für Lager mit Deck- oder Dichtscheiben sind keine Werte festgelegt

Toleranzklasse P4 – Eingengte Toleranz

d		Δ_{dmp}		Δ_{ds}		Δ_{dsp}		V_{dmp}	K_{ia}	S_d	$S_{ia}^{2)}$	Δ_{BS}			V_{Bs}	
für Durchmesserreihen																
				0,1,2,3,4		9		0,1,2,3,4								
[mm]		Abmaß		Abmaß								Abmaß normal		Abmaß modifiziert ³⁾		
über	bis	oberes	unteres	oberes	unteres	max.	max.	max.	max.	max.	max.	oberes	unteres	oberes	unteres	max.
0,6 ¹⁾	2,5	0	-4	0	-4	4	3	2	2,5	3	3	0	-40	0	-250	2,5
2,5	10	0	-4	0	-4	4	3	2	2,5	3	3	0	-40	0	-250	2,5
10	18	0	-4	0	-4	4	3	2	2,5	3	3	0	-80	0	-250	2,5
18	30	0	-5	0	-5	5	4	2,5	3	4	4	0	-120	0	-250	2,5
30	50	0	-6	0	-6	6	5	3	4	4	4	0	-120	0	-250	3
50	80	0	-7	0	-7	7	5	3,5	4	5	5	0	-150	0	-250	4
80	120	0	-8	0	-8	8	6	4	5	5	5	0	-200	0	-380	4
120	180	0	-10	0	-10	10	8	5	6	6	6	0	-250	0	-380	5
180	250	0	-12	0	-12	12	9	6	8	7	7	0	-300	0	-500	6

Tabelle 19: Innenring – Toleranzwerte in μm

¹⁾ Dieser Durchmesser ist eingeschlossen

²⁾ Nur für Rillenkugellager und Schrägkugellager

³⁾ Nur für Lager, die speziell für gepaarte Anordnungen gefertigt werden

D		Δ_{Dmp}		Δ_{Ds}		$V_{Dsp}^{3)}$		V_{Dmp}	K_{ea}	S_D	S_{D1}	$S_{ea}^{2)}$	$\Delta_{Cs} \Delta_{C1s}$		V_{C1s}	
für Durchmesserreihen																
				0 - 4		9		0 - 4								
[mm]		Abmaß		Abmaß												
über	bis	oberes	unteres	oberes	unteres	max.	max.	max.	max.	max.	max.				max.	
2,5 ¹⁾	6	0	-4	0	-4	4	3	2	3	4	5				2,5	
6	18	0	-4	0	-4	4	3	2	3	4	5				2,5	
18	30	0	-5	0	-5	5	4	2,5	4	4	5	Δ_{Cs} und Δ_{C1s} sind identisch mit Δ_{BS} und V_{Bs} für den Innenring des zugehörigen Lagers (siehe Tabelle 19)			2,5	
30	50	0	-6	0	-6	6	5	3	5	4	5				2,5	
50	80	0	-7	0	-7	7	5	3,5	5	4	5				3	
80	120	0	-8	0	-8	8	6	4	6	5	6				4	
120	150	0	-9	0	-9	9	7	5	7	5	7				5	
150	180	0	-10	0	-10	10	8	5	8	5	8				5	
180	250	0	-11	0	-11	11	8	6	10	7	10				7	
250	315	0	-13	0	-13	13	10	7	11	8	10	7				
315	400	0	-15	0	-15	15	11	8	13	10	13	8				

Tabelle 20: Außenring – Toleranzwerte in μm

¹⁾ Dieser Durchmesser ist eingeschlossen

²⁾ Nur für Rillenkugellager

³⁾ Für Lager mit Deck- oder Dichtscheiben sind keine Werte festgelegt

4.3 Maßtoleranzen Radial-Kugellager mit Flansch

Flanschdicke und Flanschaußendurchmesser

Nenn-durchmesser		Flanschdicke (B _f)			
Bohrung		Δ_{Clis}			
d (mm)		P0 und P6		P5 und P4	
über	bis	oberes	unteres	oberes	unteres
0	2,5	0	-50	0	-50
2,5	10	0	-50	0	-50
10	18	0	-120	0	-80
18	30	0	-120	0	-120
30	50	0	-120	0	-120
50	80	0	-120	0	-120
80	120	0	-150	0	-150
120	150	0	-200	0	-200
150	180	0	-250	0	-250

Nennaußen-durchmesser		Flanschaußendurchmesser (D _f)			
Lager		Δ_{Dis}			
D (mm)		P0 und P6		P5 und P4	
über	bis	oberes	unteres	oberes	unteres
2,5	6	125	-50	0	-25
6	18	125	-50	0	-25
18	30	330	-52	0	-52
30	50	390	-62	0	-62
50	80	460	-74	0	-74
80	120	540	-87	0	-87
120	150	630	-100	0	-100
150	180	630	-100	0	-100

Tabelle 21: Flanschdicke und Flanschaußendurchmesser – Toleranzwerte in μm

4.4 Maß-, Form und Lagetoleranzen nach DIN 620 – Axial-Kugellager

Toleranzklasse PN - Normaltoleranz, P6 und P5

d und d ₁		Δ_{dmp}		V _{dp}
(mm)		Abmaß		
über	bis	oberes	unteres	max.
-	18	0	-8	6
18	30	0	-10	8
30	50	0	-12	9
50	80	0	-15	11
80	120	0	-20	15
120	180	0	-25	19

Tabelle 22: Toleranzen des Bohrungsdurchmessers für Wellenscheiben – Toleranzwerte in μm

Toleranzklasse PN - Normaltoleranz

D		S _i	S _e
(mm)			
über	bis	max.	max.
-	18	10	
18	30	10	Identisch mit S _i für die Wellenscheibe des selben Lagers
30	50	10	
50	80	10	
80	120	15	
120	180	15	

Tabelle 23: Schwankung der Scheibendicke für Wellen- und Gehäusescheiben – Toleranzwerte in μm

Toleranzklasse PN - Normaltoleranz, P6 und P5

D		Δ_{Dmp}		V _{dp}
(mm)		Abmaß		
über	bis	oberes	unteres	max.
10	18	0	-11	8
18	30	0	-13	10
30	50	0	-16	12
50	80	0	-19	14
80	120	0	-22	17
120	180	0	-25	19
180	250	0	-30	23

Tabelle 24: Toleranzen des Außendurchmessers für Gehäusescheiben – Toleranzwerte in μm

Toleranzen der Lagerhöhe

D		H	
(mm)		Abmaß	
über	bis	oberes	unteres
-	30	+20	-250
30	50	+20	-250
50	80	+20	-300
80	120	+25	-300
120	180	+25	-400

Tabelle 25: Toleranzen der Nennhöhe eines einseitig wirkenden Lagers – Toleranzwerte in μm

5. Käfige

Der Käfig dient zur Positionierung der Kugeln in gleichmäßigen Abständen auf dem Teilkreisumfang.





Wir bieten verschiedene Käfigausführungen an.

Es sind zwei Käfiggruppen zu unterscheiden:

- Käfige aus Metall
- Käfige aus Kunststoff

Material	Bauform	Montagezustand
Stahl	zweiteilig	gelappt oder genietet
Stahl	einteilig	offen
Messing	zweiteilig	gelappt oder genietet
Messing	einteilig	offen
Polyamid	gespritzt	eingepresst
Phenolharz	spanabhebend	eingepresst

Tabelle 26: Die meist verwendeten Käfige

J ...	RJ ...	TW 1/ TW 2...	TBH...
<i>bzw. ohne Kennziffer</i>			
			
Stahlblech	Stahlblech genietet	Polyamid PA 6.6.../ PA 4.6 25% glasfaserverstärkt	Hartgewebe (Phenolharz)

6. Dichtungen/Deckscheiben

Mit den Dichtungen/Deckscheiben sollen die Lagerinerteile gegen das Eindringen von Staub, flüssigen und gasförmigen Partikeln geschützt werden. Darüber hinaus verhindern sie auch das Austreten des verwendeten Schmiermittels.

6.1. Die nicht schleifende Dichtung/Deckscheibe

Bei dieser Ausführung bilden die Dichtungen/Deckscheiben zusammen mit der Schulter des Innenrings eine Spaltdichtung. Dabei gibt es keinen Kontakt zum Innenring.

6.1.1. Metalldeckscheiben (2Z)

Die Deckscheiben bestehen aus gestanztem Stahlblech und stellen einen guten Schutz gegen Verschmutzung durch Staub und feste Partikel dar.

6.1.2. Gummidichtung (2RU/LLB)

Die RU-Dichtung besteht aus einem stahlblechverstärkten Perbunan-Kautschuk und ist für Temperaturen von -30 °C bis +120 °C einsetzbar. Der Schutz vor Fremdkörpereintritt ist bei gleichem Reibungsverhalten und gleicher Drehzahleignung besser als bei der Verwendung von Deckscheiben.

6.2. Die schleifende Dichtung

Diese Kugellagerdichtung berührt die Schulter des Innenringes. Dadurch kommt es zu einer Erhöhung des Drehmomentes. Diese Art der Abdichtung stellt den besten Schutz gegen das Eindringen von Staub und anderen Partikeln dar.

6.2.1. Gummidichtung (2RS/ LLU)

Die RS-Dichtung besteht aus einem stahlblechverstärkten Perbunan-Kautschuk und ist für Temperaturen von -30° C bis +120 °C einsetzbar.

6.2.2. Vitondichtung (2VS)

Die VS-Dichtung besteht aus einem stahlblechverstärkten, synthetischen Fluor-Kautschuk (FKM) und ist für Temperaturen von -25 °C bis +230 °C einsetzbar. Sie weist eine hervorragende Beständigkeit gegen chemische Medien auf und ist für Anwendungen im Hochvakuum geeignet.

6.1.3. Teflondichtung (TTS)

Bei dieser Dichtungs-Konzeption handelt es sich um eine glasfaserverstärkte Teflonscheibe, die für Temperaturen über 200 °C ausgelegt ist.

6.3. Weitere Dichtungswerkstoffe

Sonderabdichtungen bei höheren Temperaturen, erhöhter Dichtwirkung und höheren Drehzahlen auf Anfrage.

7. Schmierstoffe

7.1. Schmieröle

Schmieröle werden dort eingesetzt, wo geringe Drehmomente erreicht werden sollen. Da man bei werkseitig geölten Lagern nicht von einer Lebensdauerschmierung ausgehen kann, wird ggf. ein Nachschmieren empfohlen.

Bezeichnung	Grundöl	Gebrauchstemperatur [°C]	Viskosität bei 40 °C/100 °C [mm ² /sec]
S901	Diester	-55 bis +175	12/3,5
S902	Diester	-54 bis +135	14/4,3
S903	Ester	-65 bis +100	13/3,2

Tabelle 27: Öle

7.2. Füllvolumen

Die Wahl der Schmierstoffmenge beeinflusst sowohl die Fettgebrauchsdauer als auch das Reibungsverhalten bzw. die Grenzdrehzahl der Lager.

Bitte konsultieren Sie für eine anwendungsoptimierte Auslegung die SBN Anwendungsingenieure.

Code	Füllvolumen	zul. Drehzahl	Reibung	Fettgebrauchsdauer
S	50 ± 10%	niedrig	hoch	hoch
Standard	30 ± 10%	mittel	mittel	mittel
K	20 ± 5%	hoch	niedrig	niedrig
X	10 ± 5%	hoch	niedrig	niedrig

Tabelle 28: Füllvolumen

7.3. Schmierfette

Die von uns vorrangig verwendeten Fette finden Sie in Tabelle 29. Für weitere spezielle Betriebsbedingungen stehen auch noch andere Fette zur Verfügung, wie beispielsweise:

- PFPE-Fette für höchste Temperaturen, extreme Medienbeanspruchung oder Vakuumtauglichkeit
- Elektrisch leitfähige Fette mit speziellen Additiven

Technische Informationen

Technische Informationen

Bezeichnung	Verdicker	Basis	Gebrauchstemperatur [°C]	Viskosität bei 40°C/100° C [mm ² /sec]	NLGI-Klasse	Einsatzgebiet
S001	Lithium	Ester	-50/+150	26/5,1	2-3	Besonders geräuscharmes Mehrbereichsfett, vielfach bei Miniatur- und Dünnringlagern im Einsatz
S002	Polyharnstoff	Mineral	-30/+175	116/12,3	2	Silikon- und LABS freies Wälzlagerfett für hohe Temperaturen und Drehzahlen mit vielfältigem Einsatzgebiet (autoklavierbar, NSF H2 registriert)
S003	PTFE	PFPE	-80/+204	148/45	2	Tiefemperaturfett für Weltraum und Hochvakuumanwendungen
S004	Fluorotelomer	PFPE	-35/+288	243/25	2	Chemisch gut beständiges Hochtemperaturfett mit sehr hohem Gebrauchstemperaturbereich (Einsatz in der Luftfahrtindustrie)
S005	Polyharnstoff	Ester	-40/+180	72/9,4	2	Hochtemperatur-Langzeitfett für den Einsatz in Elektromotoren, Lüfter, Halbleiterindustrie
S006	Fluorotelomer	PFPE	-35/+260	400/41	2	Chemisch und thermisch hochbeständiges Schmierfett für sehr lange Fettgebrauchsdauern (NSF H1 registriert)
S008	Barium	Ester-/ synth. Kohlenwasserstoff Mineralöl	-40/+130	21/4,5	2	Schmierfett mit geringem Reibmoment für sehr hohe Drehzahlen bei mittleren Lasten
S009	Lithium	synth. Esteröl	-70/+110	7,5/2,6	1-2	Tiefemperaturfett für geringe Reibmomentschwankungen
S010	Lithium	Diester	-50/+120	15,5/3,8	2	Hochgeschwindigkeits- und Leichtlauf-fett für Miniatur- und Präzisionslager
S011	Barium	Hydrocarbon	-50/+120	30/5,9	2	Synthetisches Langzeitfett für einen breiten Anwendungsbereich
S012	Lithium	Hydrocarbon	-40/+150	130/14	1	Schmierfett für den Einsatz unter Vibrationen und Schwingungen (z.B. Windkraftanlagen)
S014	Aluminium-Komplexseife	Synth. Kohlenwasserstofföl	-45/+120	150/18	1	Schmierfett für die Lebensmittel- und pharmazeutische Industrie (NSF H1 registriert)
S016	Polyharnstoff	Ester	-40/+180	100/11	2-3	Geräuscharmes Hochtemperaturfett und lange Fettgebrauchsdauer
S017	Lithium	synth. Esteröl	-73/+121	13/3	2	Synthetisches Wälzlagerfett für Anwendungen mit sehr hohen Drehzahlen (Luftfahrtindustrie)
S025	Barium	Mineral	-20/+130	220/18	1-2	Langzeitfett für höher beanspruchte Teile in der Textilindustrie
S030	Polyharnstoff	Synth. Grundöl	-50/+120	22/5	2-3	Hochgeschwindigkeitsfett mit sehr geringem Reibmoment
S032	Lithium	Hydrocarbon	-60/+130	17/4	2	Tiefemperaturfett mit gutem Korrosionsschutz
S049	Lithium	Silikonöl	-70/+180	100/11	2	Tiefemperaturfett mit Silikonöl
S058	Aluminium	Synth.Öl	-25/+120	150/18	2	Vollsynthetisches Langzeitschmierfett für die Lebensmittelindustrie (NSF H1 registriert)
S113	Polyharnstoff	PFPE/ Esteröl	-40/+200	160/27	2-3	Hoch- und Tiefemperaturfett zur Lebensdauerschmierung

Tabelle 29: Fette

8. Tragfähigkeit und Lebensdauer

Für die Bestimmung der Lebensdauer bzw. Größe eines Kugellagers interessieren die Zusammenhänge zwischen der Lagerbelastung, Tragfähigkeit und Lebensdauer. Man unterscheidet zwischen der dynamischen Tragfähigkeit des umlaufenden Lagers und der statischen Tragsicherheit bei Belastung im Stillstand. Die nominelle Lebensdauer L_{10} und $L_{10(h)}$ beschreibt die dynamische Tragfähigkeit eines Wälzlagers. Der Faktor S_0 die statische Sicherheit.

Dynamische Tragfähigkeit

Bei einem umlaufenden Wälzlager besteht zwischen der Belastung und der Laufzeit des Lagers bis zur Werkstoffermüdung ein funktioneller Zusammenhang. Es treten beim Überrollen der Laufbahnen Wechsellastspannungen auf, die nach einer bestimmten Anzahl von Lastwechseln zur Ermüdung des Werkstoffes an der Oberfläche der Laufbahnen bzw. der Rollkörper führen. Die entsprechende Anzahl Umdrehungen bei einer bestimmten Belastung stellt die Lebensdauer eines Wälzlagers dar.

Die Berechnung der Lebensdauer erfolgt nach der Gleichung

$$L_{10(h)} = 16.666/n \cdot (C/P)^3$$

Ihre graphische Auswertung zeigt die Netztafel. $L_{10(h)}$ und gibt dabei die Lebensdauer in Stunden bei 10% Ausfallwahrscheinlichkeit an.

Auch kann die Tragfähigkeit eines Lagers für eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen angegeben werden. Bei einer dynamischen Tragzahl C und einer dynamisch äquivalenten Belastung P wird eine nominelle Lebensdauer L_{10} von 10^6 Umdrehungen erreicht.

$$L_{10} = (C/P)^3$$

Umgekehrt kann bei einer geforderten Lebensdauer in Stunden und bekannter Drehzahl sowie dynamisch äquivalenter Belastung die erforderliche, dynamische Tragzahl eines Lagers wie folgt bestimmt werden:

$$C \geq P \times \sqrt[3]{\frac{L_{10(h)} \times 60 \times n}{1.000.000}}$$

Statische Tragsicherheit

Die statische Tragsicherheit S_0 ist das Verhältnis aus der statischen Tragzahl C_0 und der höchsten auftretenden Belastung P_0 .

$$S_0 = C_0 / P_0$$

Betriebsbedingungen	Statische Tragsicherheit S_0
ruhiger, erschütterungsarmer Betrieb	$\geq 0,5$
normaler Betrieb	≥ 1
Betrieb bei Stoßbelastung	≥ 2
Lagerung mit hohen Ansprüchen an Laufgenauigkeit und Ruhe	≥ 3

Tabelle 30: Anhaltspunkte zur erforderlichen Tragsicherheit

8.1. Äquivalente Lagerbelastung

Die äquivalente Lagerbelastung P ist eine, konstant in Größe und Richtung angenommene Belastung, die bei Radiallagern einer rein radialen Last entspricht. Diese hypothetische Last hat in der Anwendung dieselbe Auswirkung auf die Lagerlebensdauer wie die tatsächlichen Lasten, kombiniert aus axialen und radialen Komponenten.

Bei kombinierten Lastverhältnissen gilt es daher, die äquivalente Belastung für die Ermittlung der Lebensdauer oder statischen Sicherheit zu bestimmen. Bei rein radialer Belastung entspricht die äquivalente Belastung der radialen Belastung.

Die statisch äquivalente Belastung wird für Drehzahlen kleiner gleich 33 Umdrehungen pro Minute zu Grunde gelegt. Sie wird zur Berechnung der statischen Sicherheit herangezogen.

Die dynamische äquivalente Belastung wird für Drehzahlen größer 33 Umdrehungen pro Minute zu Grunde gelegt. Sie wird zur Berechnung der Lebensdauer herangezogen.

Für Radialkugellager gilt:

Dynamische äquivalente Belastung für Radial- und Schrägkugellager

$$P = X F_r + Y F_a$$

Statische äquivalente Belastung für Radialkugellager

$$\frac{F_a}{F_r} > 0,8 : P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$$

$$\frac{F_a}{F_r} \leq 0,8 : P_0 = F_r$$

- P dynamische äquivalente Lagerlast in (N)
- P_0 statische äquivalente Lagerbelastung
- f_0 Faktor zur Berechnung der statischen Tragzahl
- F_r radiale Belastung in [N]
- F_a axiale Belastung in [N]
- X Radialfaktor des Lagers
- Y Axialfaktor des Lagers
- C_{0r} statische Tragzahl
- e Weibull-Exponentl

Lagerluft Normal					
		$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
$f_0 \cdot F_a / C_{0r}$	e	X	Y	X	Y
0,172	0,19	1	0	0,56	2,30
0,345	0,22	1	0	0,56	1,99
0,689	0,26	1	0	0,56	1,71
1,03	0,28	1	0	0,56	1,55
1,38	0,30	1	0	0,56	1,45
2,07	0,34	1	0	0,56	1,31
3,45	0,38	1	0	0,56	1,15
5,17	0,42	1	0	0,56	1,04
6,89	0,44	1	0	0,56	1,00

Tabelle 31: Ermittlung der Berechnungsfaktoren X und Y für Radialrillenkugellager
Zwischenergebnisse für e und Y sind durch lineare Interpolation zu ermitteln

Druckwinkel		Einzellager	gepaart DB oder DF
15°	$F_a/F_r \leq 0,55$ $F_a/F_r > 0,55$	$P = F_r$ $P = 0,45 F_r + F_a$	$P = F_r + 1,25 F_a$ $P = 0,72 F_r + 1,63 F_a$
25°	$F_a/F_r \leq 0,68$ $F_a/F_r > 0,68$	$P = F_r$ $P = 0,41 F_r + 0,87 F_a$	$P = F_r + 0,92 F_a$ $P = 0,66 F_r + 1,41 F_a$
30°	$F_a/F_r \leq 0,80$ $F_a/F_r > 0,80$	$P = F_r$ $P = 0,39 F_r + 0,76 F_a$	$P = F_r + 0,78 F_a$ $P = 0,63 F_r + 1,24 F_a$
40°	$F_a/F_r \leq 1,14$ $F_a/F_r > 1,14$	$P = F_r$ $P = 0,35 F_r + 0,57 F_a$	$P = F_r + 0,55 F_a$ $P = 0,56 F_r + 1,93 F_a$
45°	$F_a/F_r \leq 1,35$ $F_a/F_r > 1,35$	$P = F_r$ $P = 0,33 F_r + 0,5 F_a$	$P = F_r + 0,46 F_a$ $P = 0,53 F_r + 0,81 F_a$

Tabelle 32: Ermittlung der dynamischen äquivalenten Belastung für Radialschrägkugellager

Netztafel

Die graphische Auswertung des Lebensdauergesetzes ermöglicht die Berechnung der Tragfähigkeit und Lebensdauer von Lagern in einfacher Weise nach der folgenden Netztafel.

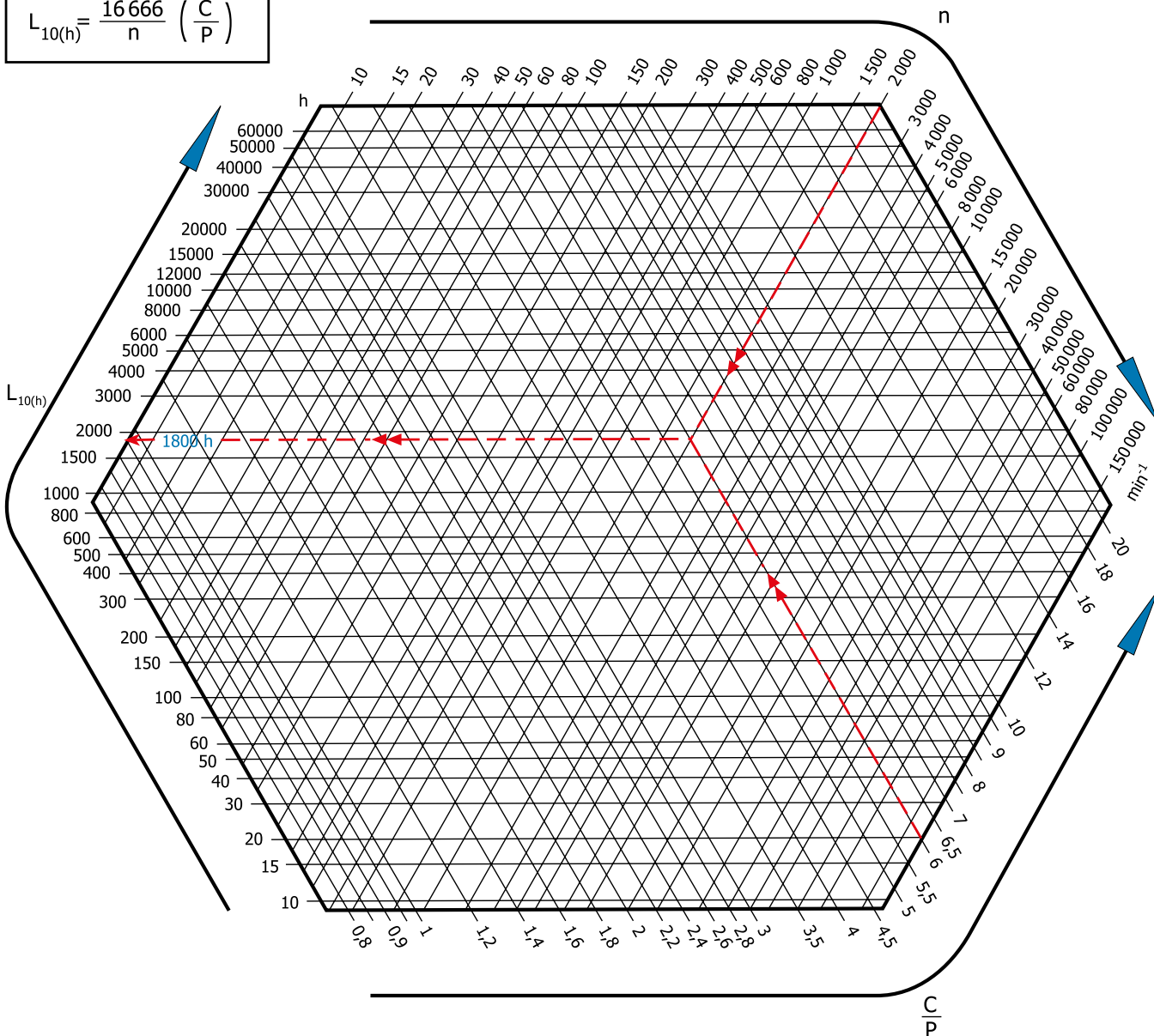
Dabei bedeuten:

$L_{10(h)}$ = Lebensdauer in Stunden die von 90% einer genügend großen Menge gleicher Lager erreicht oder überschritten wird.

P = dyn. äquivalente Lagerbelastung in Newton

n = Betriebsdrehzahl in min^{-1}

$$L_{10(h)} = \frac{16\,666}{n} \left(\frac{C}{P} \right)^3$$



Berechnungsbeispiel Präzisions Miniatur-Kugellager 636:

Gegeben: $C = 3\,300\text{ N}$
 $P = 550\text{ N}$
 $n = 2\,000\text{ min}^{-1}$

für $C/P = 6$ und $n = 2\,000\text{ min}^{-1}$
 ist oben abzulesen: $L_{10(h)} = \mathbf{1\,800\text{ h}}$

9. Reibung und Erwärmung

Die Reibungsleistung eines Kugellagers setzt sich aus mehreren Anteilen zusammen. Auf Grund der Vielzahl der Einflussgrößen können Reibungsmoment und Reibungsleistung nur annähernd und für einen konstanten Betriebszustand kalkuliert werden.

Einfluss der Schmierung und Abdichtung auf die Reibung

Die Leerlaufreibung hängt ab von:

- der Fettmenge
- der Drehzahl
- der Betriebsviskosität des Schmierstoffs
- den Dichtungen
- dem Einlaufzustand des Lagers

Der günstigste Betriebszustand wird mit der Schmierstoffmenge erreicht die zur geringsten Temperaturerhöhung am Lager führt.

Wärmeabfuhr

Die Reibungsleistung wird in Wärme umgesetzt. Diese Wärme wird aus dem Lager abgeführt.

Wärmeabfuhr durch den Schmierstoff

- bei Ölschmierung wird ein Teil der Wärme durch das Öl abgeführt
- Fett führt keine Wärme ab

Wärmeableitung über Welle und Gehäuse

Diese hängt ab von der Temperaturdifferenz zwischen Lager und Umgebung.

Näherungsweise Bestimmung der Reibungsgrößen

Für die meisten Betriebsbedingungen ist die näherungsweise Bestimmung der Reibungsleistung ausreichend. Voraussetzungen für die näherungsweise Bestimmung sind:

- ein mittlerer Drehzahlbereich
- die richtig dosierte Schmierstoffmenge

Frisch befettete Lager können höhere Reibungsmomente erzeugen. Bei guter Fettverteilung oder optimaler Ölschmierung werden die Angaben unterschritten.

Reibungsanteil	Einflussgröße
Rollreibung	Größe der Belastung
Gleitreibung der Wälkörper Gleitreibung des Käfigs	Größe und Richtung der Belastung, Drehzahl und Schmierungszustand Einlaufzustand
Flüssigkeitsreibung - Strömungswiderstände	Bauart und Drehzahl Art, Menge und Viskosität des Schmierstoffs
Dichtungsreibung	Bauart und Vorspannung der Dichtung

Tabelle 33: Einflussgröße und Reibungsanteil

Lagerbauart		Reibungszahl f
Rillenkugellager	einreihig	0,0015 bis 0,0020
	zweireihig	0,0020
Schräggugellager	einreihig	0,0020 bis 0,0035
	zweireihig	0,0025 bis 0,0030
Axialkugellager	-	0,0013

Tabelle 34: Reibungszahl f

$$M_R = F \cdot F \cdot \frac{d_M}{2} \quad N_R = M_R \cdot \frac{n}{9550}$$

- M_R** | **Nmm** | Reibungsmoment des Lagers
- f** | - | Reibungszahl (Tabelle 34)
- F** | **N** | Radiallast bei Radiallagern, Axiallast bei Axiallagern
- d_M** | **mm** | mittlerer Lagerdurchmesser (d+D) / 2
- N_R** | **W** | Reibungsleistung
- n** | **min⁻¹** | Betriebsdrehzahl