

1. GRUNDBERECHNUNGEN

Geforderte Lagergröße wird aufgrund der wirkenden Außenkräfte und gemäß den Anforderungen an die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit der Lager in der Lagerung bestimmt. Die Größe, Richtung und Charakter der Belastung, die auf das Lager wirken, sowie auch die Betriebsdrehzahl sind vor allem für die Wahl der Art und der Größe des Lagers entscheidend. Dabei sollen auch weitere spezielle und wichtige Bedingungen der Lagerung, wie z.B. Betriebstemperatur, beschränkter Raum, einfache Einbau, Anforderungen an Schmierung, Abdichtung, usw., die die Wahl des geeignetsten Lagers beeinflussen, berücksichtigt werden. Für konkrete Betriebsbedingungen können in manchen Fällen verschiedene Typen der Wälzlager benutzt werden.

Vom Standpunkt der Außenkraftwirkung und der Lagerfunktion in entsprechender Lagerung oder Einheit, gibt es in der Lagertechnik zwei Typen der Lagerbelastung:

- wenn die Ringe relativ gegenseitig umdrehen wobei das Lager von Außenkräften belastet ist (gültig für meiste Lagerungen), geht es um eine *dynamische Lagerbelastung*.
- wenn sich die Ringe nicht gegenseitig umdrehen, oder die Umdrehung ist nur sehr langsam, das Lager überträgt nur Schwenkbewegungen, oder die Außenkräfte wirken kürzere Zeit als eine Lagerumdrehung, geht es um eine *statische Lagerbelastung*.

Im ersten Fall, für die Berechnung der Lagersicherheit ist die Lebensdauer infolge der Stoffermüdung eines der Bestandteile des Lagers entscheidend. Im zweiten Fall sind entscheidend ständige Deformationen der Funktionsflächen in den Berührungspunkten der Wälzkörper und Laufbahnen.

1.1 DYNAMISCHE BELASTUNG

1.1.1 Dynamische Tragzahl

Dynamische Tragzahl ist eine ständige unveränderliche Belastung, bei der das Lager eine nominelle Lebensdauer von einer Million Umdrehungen erreicht.

Für die Radiallager bezieht sich die radiale dynamische Tragzahl C_r auf die ständig unveränderliche, nur radiale Belastung. Für die Axiallager bezieht sich die axiale dynamische Tragzahl C_a auf die unveränderliche, nur axiale Belastung, die in der Lagerachse wirkt. Für jedes Lager sind in den Tabellen die Tragzahlen C_r und C_a angegeben, Größe von welchen von der Lagerabmessungen, der Zahl der Wälzkörper, Werkstoff und von der Lagerkonstruktion abhängig ist. Die Werte der Tragzahlen wurden nach der Norm ISO 281 festgelegt. Diese Werte wurden auf den Prüfständen verifiziert und in der Praxis bestätigt.

1.1.2 Lebensdauer

Lebensdauer ist die Zahl der Umdrehungen eines Ringes gegen den anderen, bis die ersten Zeichen der Werkstoffermüdung auf der Laufbahn oder auf dem Wälzkörper bemerkbar sind.

Unter den Lagern von demselben Typ können große Unterschiede in der Lebensdauer sein und deshalb wird für die Lebensdauerberechnung nach der Norm STN ISO 281 die nominelle Lebensdauer angenommen, d.h. die Lebensdauer, die durch den Betrieb, die eine Lagergruppe bei 90% Zuverlässigkeit erreicht oder überschreitet, präsentiert werden kann.

Lebensdauergleichung

Die nominelle Lebensdauer des Lagers wird mathematisch durch die Lebensdauergleichung, die für alle Typen der Wälzlager gilt, definiert.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{oder} \quad \frac{C}{P} = \left(L_{10} \right)^{\frac{1}{p}}$$

L_{10}	- nominelle Lebensdauer	[10 ⁶ Umd.]
C	- dynamische Tragzahl (Werte C_r , C_a sind in den Tabellen angegeben)	[kN]
P	- äquivalente dynamische Lagerbelastungen (Gleichungen für Berechnungen P_r , P_a sind im Abschnitt 1.1.3 und für jede Konstruktionsgruppe angegeben)	[kN]

p - Exponent: für Rillenkugellager
für Zylinderrollen-, Kegelrollen-, Nadelrollen- und Pendelrollenlager

p = 3
p = 10 / 3

Tabelle 1 zeigt die Lebensdauerabhängigkeit L_{10} in Millionen Umdrehungen und das entsprechende Verhältnis C/P. Im Falle, daß die Drehzahl sich nicht ändert, kann für die Lebensdauerberechnung folgende adaptierte Gleichung, die die nominelle Lebensdauer in den Betriebsstunden ausdrückt, benutzt werden:

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

L_{10h} - nominelle Lebensdauer
n - Drehzahl

[Stunden]
[min⁻¹]

Die Abhängigkeit des Verhältnisses von C/P der nominellen Lebensdauer L_{10h} und von der Drehzahl n zeigt für Rillenkugellager Tabelle 2 und für Zylinderrollen-, Nadelrollen-, Pendelrollen- und Kegelrollenlager Tabelle 3.

Verhältnis C/P in Abhängigkeit von Lebensdauer L_{10h}							Tab. 1
für Rillenkugellager				für Zylinderrollen, Pendelrollen, Kegelrollen und Nadellager			
Lebensdauer	C/P	Lebensdauer	C/P	Lebensdauer	C/P	Lebensdauer	C/P
L_{10}		L_{10}		L_{10}		L_{10}	
10^6	Umd	10^6	Umd	10^6	Umd	10^6	Umd
0,5	0,793	600	8,43	0,5	0,812	600	6,81
0,75	0,909	650	8,66	0,75	0,917	650	6,98
1	1	700	8,88	1	1	700	7,14
1,5	1,14	750	9,09	1,5	1,13	750	7,29
2	1,26	800	9,28	2	1,24	800	7,43
3	1,44	850	9,47	3	1,39	850	7,56
4	1,59	900	9,65	4	1,52	900	7,70
5	1,71	950	9,83	5	1,62	950	7,82
6	1,82	1000	10	6	1,71	1000	7,94
8	2	1100	10,3	8	1,87	1100	8,17
10	2,15	1200	10,6	10	2	1200	8,39
12	2,29	1300	10,9	12	2,11	1300	8,59
14	2,41	1400	11,2	14	2,21	1400	8,79
16	2,52	1500	11,4	16	2,30	1500	8,97
18	2,62	1600	11,7	18	2,38	1600	9,15
20	2,71	1700	11,9	20	2,46	1700	9,31
25	2,92	1800	12,2	25	2,63	1800	9,48
30	3,11	1900	12,4	30	2,77	1900	9,63
35	3,27	2000	12,6	35	2,91	2000	9,78
40	3,42	2200	13	40	3,02	2200	10,1
45	3,56	2400	13,4	45	3,13	2400	10,3
50	3,68	2600	13,8	50	3,23	2600	10,6
60	3,91	2800	14,1	60	3,42	2800	10,8
70	4,12	3000	14,4	70	3,58	3000	11
80	4,31	3500	15,2	80	3,72	3500	11,5
90	4,48	4000	15,9	90	3,86	4000	12
100	4,64	4500	16,5	100	3,98	4500	12,5
120	4,93	5000	17,1	120	4,20	5000	12,9
140	5,19	5500	17,7	140	4,40	5500	13,2

Verhältnis C/P in Abhängigkeit von Lebensdauer L_{10h}							Tab. 1
für Rillenkugellager				für Zylinderrollen, Pendelrollen, Kegelrollen und Nadellager			
Lebensdauer	C/P	Lebensdauer	C/P	Lebensdauer	C/P	Lebensdauer	C/P
L_{10}		L_{10}		L_{10}		L_{10}	
10^6	Umd.	10^6	Umd.	10^6	Umd.	10^6	Umd.
160	5,43	6000	18,2	160	4,58	6000	13,6
180	5,65	7000	19,1	180	4,75	7000	14,2
200	5,85	8000	20	200	4,90	8000	14,8
250	6,30	9000	20,8	250	5,24	9000	15,4
300	6,69	10000	21,5	300	5,54	10000	15,8
350	7,05	12500	23,2	350	5,80	12500	16,9
400	7,37	15000	24,7	400	6,03	15000	17,9
450	7,66	17500	26	450	6,25	17500	18,7
500	7,94	20000	27,1	500	6,45	20000	19,5
550	8,19	25000	29,2	550	6,64	25000	20,9

Verhältnis C/P in Abhängigkeit von Lebensdauer L_{10h} und der Drehzahl n für die Kugellager														Tab. 2
Lebensdauer	Drehzahl n [min^{-1}]													
L_{10h}	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
Stunden														
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,15	1,24	1,34	1,45	1,56
500	-	-	-	1,06	1,24	1,45	1,56	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67
1 000	-	-	1,15	1,34	1,56	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36
1 250	-	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63
1 600	-	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91
2 000	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23
2 500	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	2,56
3 200	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93
4 000	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32
5 000	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75
6 300	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20
8 000	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	2,70
10 000	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23
12 500	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81
16 000	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	4,93	5,23	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43
20 000	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11
25 000	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
32 000	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
40 000	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
50 000	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	3,83	10,6	11,5	12,4
63 000	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
80 000	3,36	4,23	4,93	5,75	6,70	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
100 000	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
200 000	4,93	5,75	6,70	7,81	9,11	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6



Verhältnis C/P in Abhängigkeit von Lebensdauer L_{10h} und der Drehzahl n für die Kugellager														Tab. 2
Lebensdauer	Drehzahl n [min ⁻¹]													
L_{10h}	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
Stunden														
100	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56
500	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,2	6,7	7,23	7,81
1 000	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
1 250	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
1 600	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
2 000	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4
2 500	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
3 200	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
4 000	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
5 000	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8
6 300	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2
8 000	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6
10 000	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2
12 500	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9
16 000	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7
20 000	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7
25 000	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8
32 000	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1
40 000	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-
50 000	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-
63 000	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-
80 000	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-
100 000	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-
200 000	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Verhältnis C/P in Abhängigkeit von Lebensdauer L_{10h} und der Drehzahl n für die Zylinder-, Pendelrollen- und Kegelrollenlager														Tab. 3
Lebensdauer	Drehzahl n [min ⁻¹]													
L_{10h}	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
Stunden														
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	1,1	1,21	1,30	1,39	1,49
500	-	-	-	1,05	1,21	1,39	1,49	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42
1 000	-	-	1,13	1,30	1,49	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97
1 250	-	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	52,78	2,97	3,19
1 600	-	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42
2 000	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66
2 500	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
3 200	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20
4 000	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50
5 000	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82
6 300	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17
8 000	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54
10 000	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94
12 500	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36
16 000	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81
20 000	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30
25 000	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
32 000	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
40 000	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
50 000	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
63 000	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
80 000	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
100 000	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
200 000	4,20	4,82	5,54	6,36	7,30	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6

Verhältnis C/P in Abhängigkeit von Lebensdauer L_{10h} und der Drehzahl n für die Zylinder-, Pendelrollen- und Kegelrollenlager														Tab. 3
Lebensdauer	Drehzahl n [min ⁻¹]													
L_{10h}	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
Stunden														
100	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
500	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,7	5,54	5,94	6,36
1 000	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
1 250	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
1 600	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
2 000	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
2 500	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
3 200	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
4 000	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
5 000	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7
6 300	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6
8 000	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6
10 000	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6
12 500	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7
16 000	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9
20 000	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2
25 000	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6
32 000	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-
40 000	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-
50 000	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-
63 000	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-
80 000	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-
100 000	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-	-
200 000	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Im Falle der Achsenlagerungen von Straßen- und Schienenfahrzeuge kann die nominelle Lebensdauer durch eine adaptierte Gleichung, d.h. durch die Menge der absolvierten Kilometern, ausgedrückt werden:

$$L_{10km} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{\pi \cdot D}{1000}$$

L_{10km} - nominelle Lebensdauer
 D - Raddurchmesser

$[10^6 km]$
 $[m]$

Richtwerte der nominellen Lebensdauer

In Fällen, wenn für konkrete Lagerung keine Lebensdauer gefordert wird, können die Werte in Tabellen 4 und 5 in Betracht genommen werden.

Richtwerte nomineller Lebensdauer in Betriebsstunden	Tab. 4
Maschinenart	nominelle Lebensdauer
	L_{10h}
	h
selten verwendete Geräte und Werkzeuge	1 000
elektrische Haushaltmaschinen, kleine Ventilatoren	2 000 až 4 000
Maschinen für unterbrochenen Betrieb, Handwerkzeuge, Werkskräne, Wirtschaftsmaschinen	4 000 až 8 000
Maschinen für unterbrochenen Betrieb mit hohen Anforderungen an die Betriebssicherheit, Hilfsmaschinen in Kraftwerken, Bandförderer, Transportwagen,	8 000 až 15 000
Walzgerüste	6 000 až 12 000
Maschinen für 8 -16 Stundenbetrieb; stationäre Elektromotoren, Zahnradgetriebe, Spindeln für Textilmaschinen, Plattenverarbeitungsmaschinen, Druckereimaschinen, Kräne	15 000 až 30 000
Werkzeugmaschinen allgemein	20 000 až 30 000
Maschinen für Tag- und Nachtbetrieb: stationäre Elektromaschinen, Transportanlagen, Rollenförderer, Pumpen, Zentrifugen, Gebläse, Kompressoren, Hammermühlen, Brecher, Brikkpressen, Grubenafzüge, Seilscheiben	40 000 až 60 000
Maschinen für Tag- und Nachtbetrieb mit hohen Anforderungen an Betriebssicherheit Kraftwerkmaschinen, Wasserwerkmaschinen, Papiermaschinen, Schiffmaschine	100 000 až 200 000

Richtwerte nomineller Lebensdauer in Kilometern	Tab. 5
Art des Fahrzeuges	nominelle Lebensdauer
	L_{10km}
	km

Radfahrzeuge:

Motorräder	60 000
PKWs	150 000 až 250 000
LKWs, Busse	400 000 až 500 000

Radsatzlagerungen für Schienenfahrzeuge:

Eisenbahngüterwagen (nach UIC) bei ständiger Wirkung der max. Achsenbelastung	800 000
Straßenbahnen	1 500 000
Eisenbahnpersonenwagen	3 000 000
Motorwagen und Motoreinheiten	3 000 000 až 4 000 000
Lokomotiven	3 000 000 až 5 000 000

Gleichung der modifizierten Lebensdauer

Die modifizierte Lebensdauer ist eine korrigierte nominelle Lebensdauer, wobei bei der Berechnung außer der Belastung auch der Einfluß des Werkstoffes der Lagerbestandteilen, physikalisch-mechanische Eigenschaften der Schmierung und Temperaturbedingungen der Lagerung in Betracht genommen werden müssen.

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

- L_{na} - modifizierte Lebensdauer für Zuverlässigkeit (100-n)%
 und andere als übliche Betriebsbedingungen [10⁶ Umd.]
 a_1 - Zuverlässigkeitsbeiwert für eine andere Zuverlässigkeit als 90%, siehe Tabelle 6
 a_{23} - Beiwert des Schmiermittels, des Materials, der Technologie und Beiwert
 der Betriebsbedingungen, siehe Bild 1
 L_{10} - Lebensdauer [10⁶ Umd.]

Beiwert a_1		Tab. 6
Zuverlässigkeit (%)	L_n	a_1
90	L_{10}	1,00
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

Für die Grundfestlegung von Werten a_{23} ist das Diagramm auf der Seite 1 benutzt.

$$K = \frac{\nu}{\nu_1}$$

- ν - kinematische Schmiermittelviskosität bei der Lagerbetriebstemperatur [mm²·s⁻¹]
 ν_1 - kinematische Viskosität für die definierte Drehzahl
 und gewählte Lagerabmessung [mm²·s⁻¹]

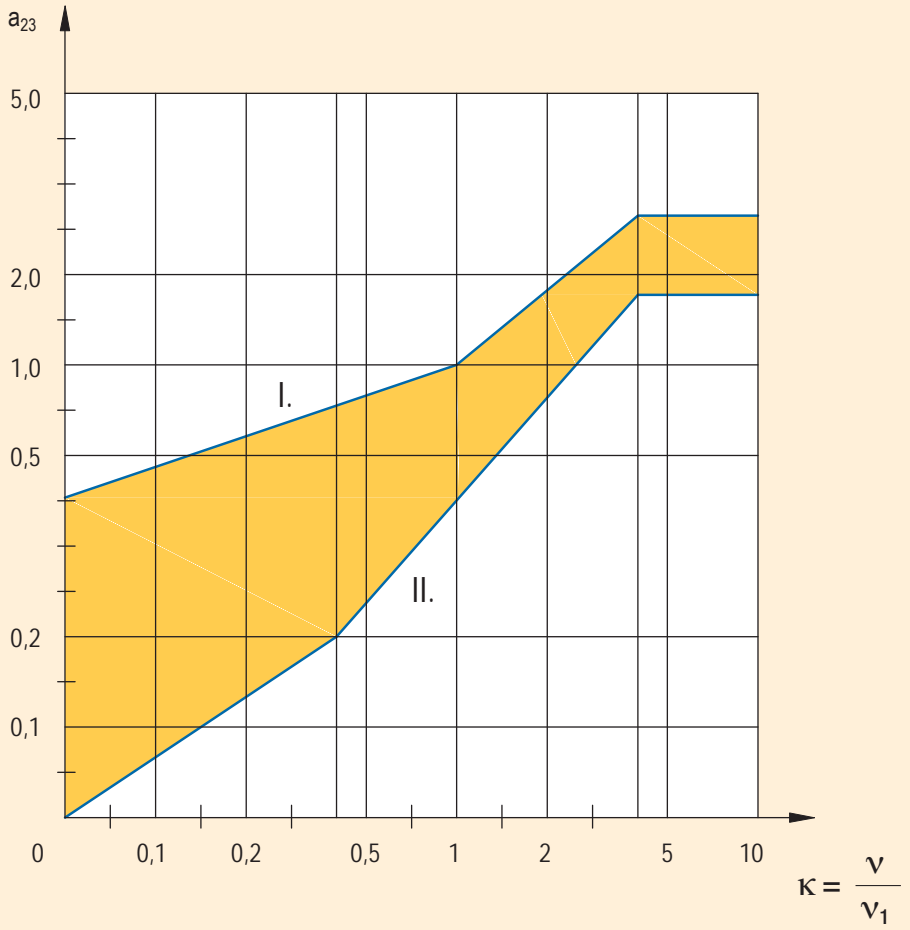
Werte ν und ν_1 werden nach dem Diagramm auf der Seite 24, oder 23 bestimmt.

Im Diagramm in der Abbildung 1, die Linie I gilt für die radialen Rillenkugellager, die in einer sehr reinen Umwelt arbeiten. In übrigen Fällen ist Beiwert a_{23} niedriger gewählt, in Abhängigkeit von der Umweltsauberkeit, wobei die herabsetzende Tendenz ist von der Lagerkonstruktionsgruppe in dieser Reihenfolge abhängig:

- Schrägkugellager
- Kegelrollenlager
- Zylinderrollenlager
- zweireihige Pendelkugellager
- Pendelrollenlager

Linie II kann für die Festlegung des Beiwertes a_{23} von Pendelrollenlagern, die in einer staubigen Umwelt arbeiten, benutzt werden.

Es wird empfohlen, diese Problematik mit dem Lieferant zu besprechen.



1.1.3 Äquivalente dynamische Belastung

In einer Lagerung ist das Lager mit den Kräften verschiedener Größe und Richtungen, bei verschiedener Drehzahl und verschiedener Wirkungszeit belastet. Vom Standpunkt der Berechnungsmethodik ist es notwendig, die wirkenden Kräfte auf eine konstante Belastung zu berechnen, bei welcher das Lager die selbe Lebensdauer hat, wie bei den Bedingungen der tatsächlichen Belastung erreicht. Solch eine umgerechnete konstante radiale oder axiale Belastung wird als äquivalente Belastung P , bzw. P_r (radiale), oder P_a (axiale) genannt.

Kombinierte Belastung

Konstante Art der Belastung

Die Außenkräfte, die auf das Lager wirken, ändern sich nicht weder vom Standpunkt der Größe, noch von der Zeit.

Radiallager

Wenn auf das Radiallager gleichzeitig radiale und axiale Belastung von konstanter Größe und Richtung wirken, gilt für die Berechnung der äquivalenten dynamischen Belastung folgende Gleichung:

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

P_r	- äquivalente dynamische Belastung	[kN]
F_r	- Radialkraft wirkend auf das Lager	[kN]
F_a	- Axialkraft wirkend auf das Lager	[kN]
X	- Faktor der radialen Belastung	
Y	- Faktor der axialen Belastung	

Faktoren X und Y hängen von dem Verhältnis F_a/F_r ab. Werte X und Y sind in den Tabellen, oder im Kommentar vor jeder Lagerkonstruktionsgruppe angegeben, wo nähere Parametern für die Berechnung von der konkreten Konstruktionsgruppe angegeben sind.

Axiallager

Axialrillenkugellager können nur axiale Kräfte übertragen. Folgende Gleichung gilt für die Berechnung von der dynamischen äquivalenten Belastung

$$P_a = F_a$$

P_a	- axiale äquivalente dynamische Belastung	[kN]
F_a	- axiale Lagerbelastung	[kN]

Axial-Pendelrollenlager können auch bestimmte Radialbelastung F_r übertragen, aber nur bei der gleichzeitig wirkenden axialen Belastung F_a . Dabei muß die Bedingung $F_r \leq 0,55 F_a$ erfüllt werden. Die axiale äquivalente dynamische Belastung wird aus folgender Gleichung berechnet:

$$P_a = F_a + 1,2 \cdot F_r$$

Veränderliche Belastung

Die wirkliche veränderliche Belastung, dessen Zeitverlauf uns bekannt ist, wird für die Berechnung durch mittlere gedachte Belastung ersetzt. Diese gedachte Belastung hat auf das Lager denselben Einfluß, wie die wirkliche veränderliche Belastung.

Änderung der Belastungsgröße bei ständiger Drehzahl

Wenn auf das Lager die Belastung in konstanter Richtung wirkt, die Größe von welcher sich in Abhängigkeit von Zeit ändert, wobei die Drehzahl konstant ist (Abbildung 2), berechnen wir die mittlere gedachte Belastung F_s nach folgender Gleichung:

$$F_s = \left(\sum_{i=1}^n F_i^3 \cdot \frac{q_i}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

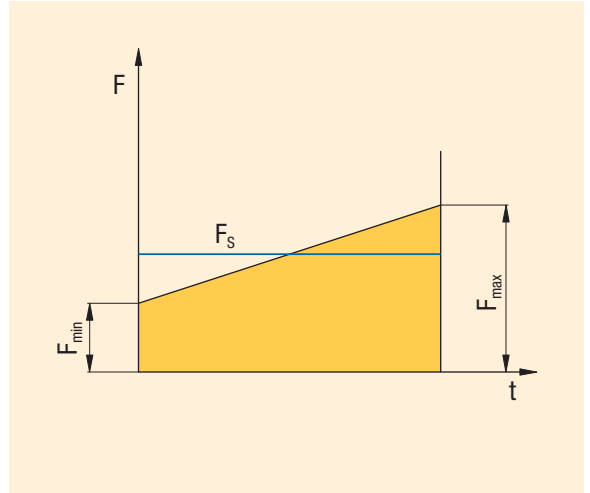
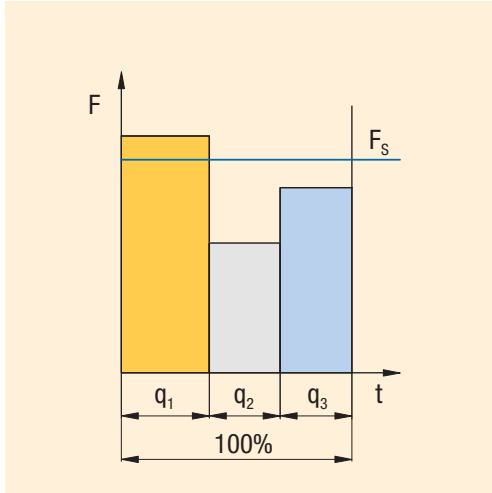
- F_s - gedachte mittlere unveränderliche Belastung [kN]
- $F_i = F_1, \dots, F_n$ - unveränderliche wirkliche Teilbelastungen [kN]
- $q_i = q_1, \dots, q_n$ - Anteil der Wirkung von Teilbelastungen [%]

Bei konstanter Drehzahl mit einer linearen Belastungsänderung der konstanten Richtung (Abbildung 3) wird die mittlere gedachte Belastung aus folgender Gleichung berechnet:

$$F_s = \frac{F_{\min} + 2 \cdot F_{\max}}{3}$$

Abb. 2

Abb. 3



Wenn die wirkliche Belastung einen sinusförmigen Verlauf hat (Abbildung 4), ist die mittlere gedachte Belastung

$$F_s = 0,75 \cdot F_{\max}$$

Änderung der Belastungsgröße bei Drehzahländerung

Wenn auf das Lager veränderliche Belastung wirkt und dabei gleichzeitig auch die Drehzahl geändert wird, wird die mittlere gedachte Belastung aus folgender Gleichung berechnet:

$$F_s = \left(\frac{\sum_{i=1}^n F_i^3 \cdot q_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n q_i \cdot n_i} \right)^{\frac{1}{3}}$$

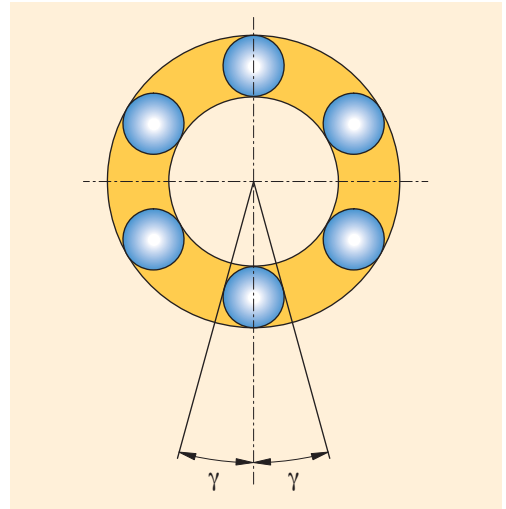
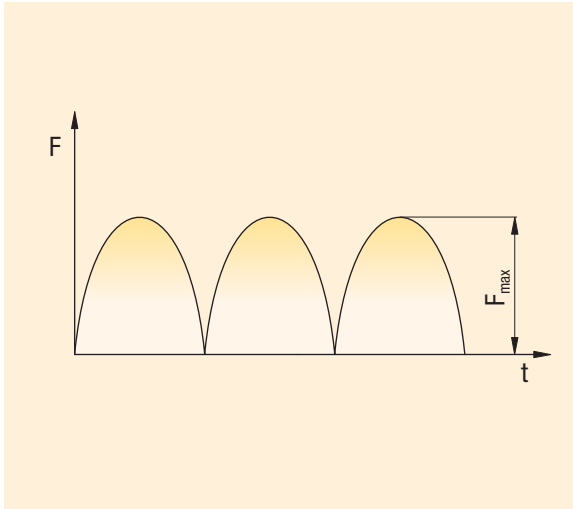
- $n_i = n_1, \dots, n_n$ - konstante Drehzahl in der Zeit der Teilbelastungswirkungen F_1, \dots, F_n [min^{-1}]
- $q_i = q_1, \dots, q_n$ - Anteil der Wirkung von Teilbelastungen und Drehzahlen an gesamter Lebensdauer [%]

Wenn sich in der Zeitabhängigkeit nur die Drehzahl verändert, wird die gedachte mittlere konstante Drehzahl aus folgender Gleichung berechnet

$$n_s = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \cdot n_i}{100}$$

n_s = mittlere Drehzahl

[min^{-1}]



Bei der Schwenkbewegung mit der Schwenkamplitude γ (Abb. 5) ist es am einfachsten, die Schwenkbewegung durch gedachte Rotation, bei der die Drehzahl der Schwingungsrotation gleich, zu ersetzen. Die äquivalente Belastung der Radiallager wird aus folgender Gleichung berechnet:

$$F_s = F_r \left(\frac{\gamma}{90} \right)^{\frac{1}{p}}$$

- F_s - mittlere gedachte Belastung [kN]
- F_r - wirkliche Radialbelastung [kN]
- γ - Schwenkbewegungsamplitude [°]
- p - Exponent: $p = 3$ für Rillenkugellager
 $p = 10/3$ für Zylinder-, Pendel-, Kegelrollenlager und Nadellager

1.1.4 Temperatureinfluß

Geliefertes Sortiment der Lager ist für die Benutzung bei Temperaturen bis 120°C bestimmt. Die Ausnahme sind die zweireihigen Pendelrollenlager, die bei Temperaturen bis 180°C arbeiten können und einreihige Rillenkugellager mit Dichtscheiben (RS, 2RS, RSR, 2RSR, RSR2, -2RSR2) verwendbar bis zur Temperatur von 110°C, mit Dichtscheiben RS2, -2RS2, RSR2, -2RSR2 verwendbar zur Temperatur 180°C.

Für höhere Betriebstemperaturen sind die Lager so hergestellt, daß ihre notwendige physikalisch-mechanische Eigenschaften und ihre Maßstabilität gesichert werden. Konstruktion der Lagerung für höhere Temperaturen empfehlen wir mit dem Lieferant konsultieren.

Die Werte der dynamischen Tragzahl C_r oder C_a angegeben in dem Tabellenteil dieser Publikation, sind mit dem Koeffizienten f_t zu multiplizieren. Er ist in Tabelle 7 angegeben.

Koeffizientwerte f_t				Tab. 7
Betriebstemperatur bis [°C]	150	200	250	300
Koeffizient f_t	0,95	0,9	0,75	0,6

1.2 STATISCHE BELASTUNG

1.2.1 Statische Tragzahl

Radiale statische Tragzahl C_{or} und axiale statische Tragzahl C_{oa} ist für jedes Lager in dem Tabellenteil dieser Publikation angegeben. Die Werte C_{or} und C_{oa} wurden durch Berechnung nach der internationalen Norm STN ISO 76 berechnet.

Die statische Tragzahl ist die Belastung, die den berechneten Berührungsspannungen in dem am meisten belasteten Berührungsbereich des Wälzkörpers und der Lagerlaufbahn entspricht:

- 4600 MPa für zweireihige Pendelkugellager
- 4200 MPa für andere Rillenkugellager
- 4000 MPa für Zylinder-, Pendel-, Kegelrollenlager und Nadellager

1.2.2 Äquivalente statische Belastung

Die äquivalente statische Belastung ist die überrechnete Radialbelastung P_{or} für die Radiallager und die Axialachsenbelastung P_{oa} für die Axiallager.

$$P_{or} = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a$$

$$P_{oa} = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a$$

P_{or}	- radiale äquivalente statische Belastung	[kN]
P_{oa}	- axiale äquivalente statische Belastung	[kN]
F_r	- Radialbelastung	[kN]
F_a	- Axialbelastung	[kN]
X_o	- Faktor der radialen Belastung	
Y_o	- Faktor der axialen Belastung	

Koeffizient s_0			Tab. 8
Lagerbewegung	Belastungsart, Anforderungen an Lagerlauf	s_0 Rillenkugellager	s_0 Zylinder-, Pendel-, Kegelrollenlager, Nadellager
Drehbewegung	starke Stoßbelastungen, hohe Anforderungen an ruhigen Lauf	2	4
	nach statischer Belastung dreht sich das Lager bei kleinerer Belastung	1,5	3
	normale Anforderungen an ruhigen Lauf		
	normale Betriebsverhältnisse und normale Anforderung an den Lauf	1	1,5
Schwenkbewegung	kleiner Schwenkungswinkel mit hoher Frequenz und unregelmäßiger Stoßbelastung	2	3,5
	großer Schwenkungswinkel mit kleiner Frequenz und etwa ständiger periodischer Belastung	1,5	2,5
Stillstand	große Stoßbelastung	1,5 až 1	3 až 2
	normale und kleine Belastung, keine speziellen Anforderungen an den Lagerlauf	1 až 0,4	2 až 0,8
	Axial-Pendelrollenlager bei allen Bewegungs- und Belastungsarten	-	4

Die Koeffizienten X_o und Y_o sind für einzelne Lager in den Tabellen dieser Publikation aufgeführt. Zugleich sind hier die näheren Angaben für die Festlegung der äquivalenten, statischen Belastung von Lagern der konkreter Konstruktionsgruppe aufgeführt.

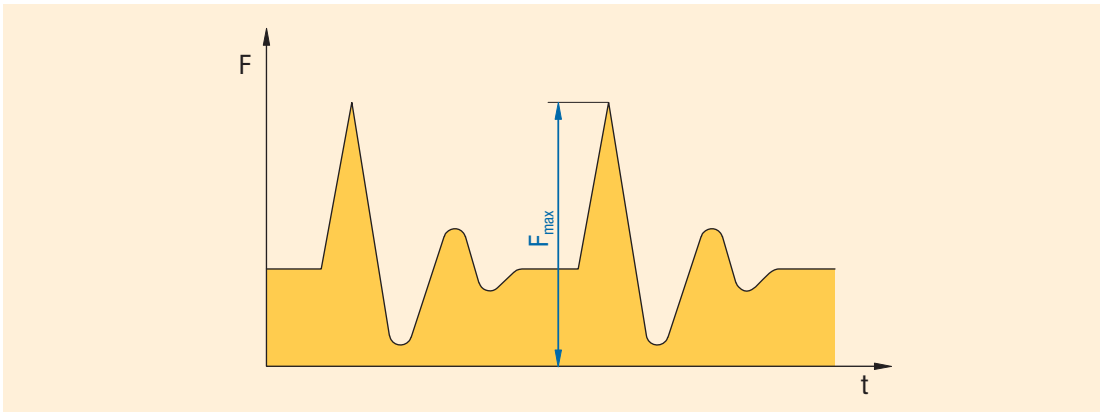
1.2.3 Lagertragsicherheit bei statischer Belastung

In Praxis wird die Lagertragsicherheit bei statischer Belastung aus dem Verhältnis C_{or}/P_{or} oder C_{oa}/P_{oa} festgestellt und wird mit Angaben in Tabelle 8 verglichen, wo die Werte von den kleinsten zulässigen Koeffizienten s_0 für verschiedene Betriebsbedingungen angegeben sind.

$$s_0 = \frac{C_{or}}{P_{or}} \quad \text{oder} \quad \frac{C_{oa}}{P_{oa}}$$

s_0	- Sicherheitskoeffizient bei statischer Belastung	
C_{or}	- radiale Tragzahl	[kN]
C_{oa}	- axiale Tragzahl	[kN]
P_{or}	- radiale äquivalente statische Belastung, bzw. bei großer Stoßbelastung max. wirkende Stoßkraft $F_{r,max}$ (Abb. 6)	[kN]
P_{oa}	- axiale äquivalente statische Belastung, bzw. bei großer Stoßbelastung max. wirkende Stoßkraft $F_{a,max}$ (Abb. 6)	[kN]

Abb. 6



1.3 DREHZAHLGRENZE

Die Grenzdrehzahl hängt vom Lagertyp, seiner Genauigkeit, der Käfigausführung, der Innenlagerluft, von den Betriebsverhältnissen in der Lagerung, der Schmierungsart und von einer Reihe weiterer Umstände ab. Dieser Einflusskomplex bestimmt die Temperaturentwicklung im Lager und dadurch auch Drehzahl, die vor allem durch die Betriebstemperatur des Schmierstoffes beschränkt ist.

Für Orientierung in dem Tabellenteil dieser Publikation sind die Richtwerte der Grenzdrehzahl für einzelne Lager in normaler Toleranzklasse für Schmierung mit Fett und Öl angegeben. Angegebene Werte gelten unter der Voraussetzung von entsprechender Belastung ($L_{10h} \geq 100\ 000$ h), Normalbetriebsverhältnissen und Kühlung.

Der Einfluss von größerer Belastung zeigt sich besonders bei Lagern größerer Abmessungen mit Lebensdauer $L_{10h} < 100\ 000$ Stunden, wo man mit Herabsetzung der Grenzdrehzahlwerte rechnen muß. Ebenfalls ist es notwendig, die Grenzdrehzahlwerte auch bei Radiallager zu reduzieren, die ständig mit relativ großer Axialkraft belastet sind. Der Ergebniswert der Drehzahl ist von dem Verhältnis der Axial- und Radialbelastung F_a/F_r abhängig.

Wenn $F_a/F_r > 0,6$ ist, wird es empfohlen, besonders bei den zweireihigen Pendelkugellagern, bei den zweireihigen Pendelrollenlagern und bei den einreihigen Kegelrollenlagern, die Werte der Grenzfrequenz mit dem Lieferanten zu besprechen.

Die angegebene Grenzdrehzahl kann für Rillenkugellager bis 3 - mal, Zylinderrollenlager 2 - mal, für übrige Lager außer den Pendel- und Kegelrollenlagern bis 1,5 - mal und für Pendelrollenlager 1,3 - mal überschritten werden.

Diese Überschreitung erfordert in der Regel:

- Schmierung- und Kühlungsänderung
- erhöhte Lagergenauigkeit und dementsprechende Genauigkeit der Bestandteile, die mit dem Lager zusammenhängen
- größere Radialluft als normal
- Käfig geeigneter Konstruktion und aus geeignetem Werkstoff

In diesen Fällen ist es notwendig, die Lagerverwendung mit den schon erwähnten Fachstätten zu besprechen.