

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

	Seite
1 Allgemeine Grundlagen	1
1.1 Wälzlagerbauarten	1
1.1.1 Radial-Kugellager	2
1.1.2 Radial-Rollenlager	11
1.1.3 Axial-Kugellager	21
1.1.4 Axial-Rollenlager	24
1.1.5 Sonderlager	26
1.2 Werkstoff und Wärmebehandlung	29
1.2.1 Werkstoffe und Wärmebehandlung für Ringe und Rollkörper	29
1.2.2 Werkstoffe für Käfige	46
1.2.3 Werkstoffe für Dichtungen	47
1.3 Baumaße	48
1.4 Toleranzen und Meßverfahren	52
1.4.1 Toleranzen für Wälzlager normaler Genauigkeit	52
1.4.2 Toleranzen für Wälzlager erhöhter Genauigkeit	54
1.4.3 Meßverfahren	55
1.5 Lagerluft, Lagerspiel	66
1.6 Kurzeichen der Wälzlager	67
2 Grundlagen der Lagerberechnung	74
2.1 Geometrie der Wälzlager	74
2.1.1 Punktberührung und Linienberührung	75
2.1.2 Schmiegung	76
2.1.3 Druckwinkel	78
2.1.4 Umrechnung: Radialspiel-Axialspiel	83
2.1.5 Kippwinkel	86
2.2 Bewegungsverhältnisse	87
2.2.1 Umfangsgeschwindigkeit und Drehzahl von Käfig und Rollkörper	88
2.2.2 Überrollverhältnisse	91
2.2.3 Abwälzverhältnisse	93
2.3 Elastische Verformung und Flächenpressung	95
2.3.1 Grundlagen der Hertzschén Theorie	96
2.3.2 Elastische Verformung	103
2.3.3 Größe der Druckfläche	108
2.3.4 Maximale Flächenpressung	113
2.3.5 Spannungen unter der Oberfläche	118
2.4 Druckverteilung	119
2.4.1 Allgemeine Druckverteilung	119
2.4.2 Spezielle Fälle der Druckverteilung	125

Inhaltsverzeichnis

2.5	Federung	131
2.5.1	Radiale Federung	132
2.5.2	Axiale Federung	134
2.5.3	Vergleich einiger Federungswerte	137
3	Tragfähigkeit und Gebrauchsdauer	138
3.1	Statische Beanspruchung	139
3.1.1	Plastische Verformung	139
3.1.2	Zulässige statische Rollkörperbelastung	141
3.1.3	Statische Tragzahl C_o	142
3.1.4	Statisch äquivalente Belastung P_o	144
3.1.5	Kennzahl f_s der statischen Beanspruchung	145
3.2	Dynamische Beanspruchung	147
3.2.1	Ermüdung und Ausfallwahrscheinlichkeit	147
3.2.2	Klassische Ermüdungstheorie	150
3.2.3	Die Ermüdungslbensdauer	152
3.3	Dynamische Tragfähigkeit	152
3.3.1	Die nominelle Ermüdungslbensdauer	152
3.3.2	Die dynamische Tragzahl C	154
3.4	Dynamisch äquivalente Belastung P	162
3.4.1	Konstante kombinierte Belastung	162
3.4.2	Veränderliche Belastung und Drehzahl	168
3.4.3	Dynamisch äquivalente Belastung bei Schwenkbewegungen	172
3.5	Dimensionierung dynamisch beanspruchter Lager	173
3.5.1	Belastungsansätze	173
3.5.2	Berechnung des f_L -Wertes	178
3.5.3	Der f_L -Wert als Richtwert für die Dimensionierung	180
3.5.4	Erreichbare Lebensdauer und Dauerfestigkeit	184
3.5.5	Erweiterte Lebensdauerberechnung	186
3.6	Axial belastete Zylinderrollenlager	199
3.6.1	Axiale Belastbarkeit bei hydrodynamischer Schmierung und bei Mischreibung	199
3.6.2	Dynamisch äquivalente Belastung axial belasteter Zylinderrollenlager	201
3.7	Verschleiß und Gebrauchsdauer	202
3.7.1	Verschleiß von Wälzlagern	202
3.7.2	Verlängerung der Verschleißlaufzeit und der Gebrauchsdauer	204
3.7.3	Gebrauchsdauer und Betriebssicherheit	209
4	Reibung, Temperatur und Schmierung	210
4.1	Reibung	210
4.1.1	Rollreibung	210
4.1.2	Gleitreibung	212
4.1.3	Schmierstoffreibung	213
4.1.4	Reibungsmoment	214

4.1.5	Berechnung des Reibungsmomentes	215
4.2	Temperatur	222
4.2.1	Höhe der Betriebstemperatur	222
4.2.2	Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenring	225
4.3	Grundlagen der Schmierung	226
4.3.1	Eigenschaften der Schmierstoffe	226
4.3.2	Hydrodynamische Schmierung	228
4.3.3	Elastohydrodynamische Schmierung	229
4.3.4	Schmierfilm bei Fettschmierung	232
4.3.5	Schmierung mit Festschmierstoffen	233
4.3.6	Reibungsmindernde Oberflächenbehandlungen und Sonderwerkstoffe	234
4.4	Schmierverfahren	235
4.4.1	Fettschmierung	236
4.4.2	Ölschmierung	236
4.4.3	Feststoffschmierung	237
4.4.4	Wahl des Schmierverfahrens	237
4.4.5	Beispiele der unterschiedlichen Schmierverfahren	240
4.5	Wahl des Schmierstoffs	244
4.5.1	Schmierfette	246
4.5.2	Schmieröle	253
4.5.3	Festschmierstoffe	256
4.6	Versorgung der Lager mit Schmierstoff	258
4.6.1	Schmierstoffversorgung bei Fettschmierung	258
4.6.2	Schmierstoffversorgung bei Ölschmierung	274
4.6.3	Schmierstoffversorgung bei Feststoffschmierung	289
5	Grundlagen für die Konstruktion der Lagerung	290
5.1	Anordnung der Lager	290
5.1.1	Festlager-Loslager	290
5.1.2	Angestellte Lagerung	291
5.1.3	Schwimmende Lagerung	294
5.2	Kraftrichtung und Kraftfluß	295
5.3	Zulässige Drehzahlen	297
5.4	Mindestbelastung von Axiallagern und Radiallagern	303
5.5	Ausgleich von Fluchtfehlern	306
5.6	Laufgeräusch	308
5.7	Laufgenauigkeit	312
5.8	Passungen	316
5.8.1	Sitze für Radiallager	317
5.8.2	Sitze für Axiallager	222
5.8.3	Passungstafeln	322

Inhaltsverzeichnis

5.8.4	Spannungen und Dehnungen bei strammen Sitzen	330
5.9	Radialluft vor dem Einbau und Radialspiel im Betrieb	339
6	Gestaltung der Lagerstelle	342
6.1	Befestigung der Lagerringe	342
6.1.1	Richtlinien für die Befestigung	342
6.1.2	Befestigungsmittel	345
6.2	Einbaumaße	356
6.2.1	Rundungen an Welle und Gehäuse	356
6.2.2	Schulterhöhe von Welle und Gehäuse	356
6.2.3	Einbaumaße für Zylinderrollenlager	357
6.2.4	Einbaumaße für Kegelrollenlager und Axial-Pendelrollenlager	359
6.2.5	Einbaumaße für Lager mit Ringnut und Sprengring	360
6.3	Gestaltung von Lagerumbauteilen und Gehäusen	360
6.3.1	Auswirkung von elastischen Gehäusen auf die Lagerbeanspruchung	361
6.3.2	Lage der Gehäuse-Abstützpunkte	368
6.3.3	Tangentielle Abstützung des Gehäusekörpers	371
6.3.4	Radiale Abstützung des Gehäusekörpers	376
6.3.5	Schräger Lastangriff am Gehäusekörper	379
6.3.6	Verspannte Wälzlagergehäuse	381
6.4	Abdichtung der Lagerstelle	382
6.4.1	Nicht berührende Dichtungen	382
6.4.2	Berührende Dichtungen	386
6.4.3	Dichtungsaufgaben und ihre Lösung	391
6.5	Ein- und Ausbau	398
6.5.1	Hilfsmittel für den Einbau	398
6.5.2	Spielregulierung beim Einbau	405
6.5.3	Hilfsmittel für den Ausbau	410
6.5.4	Besondere Verfahren für den Ein- und Ausbau	413
6.5.5	Meßgeräte für den Lagereinbau	416
7	Wälzlagenschäden	421
7.1	Allgemeine Feststellungen	421
7.2	Schadensmerkmale und -ursachen	423
7.2.1	Ermüdung	423
7.2.2	Verschleiß	428
7.2.3	Korrosionsschäden	429
7.2.4	Freß- und Gleiterscheinungen	430
7.2.5	Örtliche Vertiefungen in der Laufbahn	432
7.2.6	Einbaufehler	435
7.2.7	Fehlerhafte Montage	439
7.2.8	Schäden und Merkmale bei schlechter Schmierung	441
7.2.9	Konstruktive Fehler	441

7.3	Die Überwachung von Wälzlagern	446
7.3.1	Überwachbare Kriterien vor dem Ausfall einer Lagerung	446
7.3.2	Lagerüberwachung durch Temperaturmessung	447
7.3.3	Lagerüberwachung durch Schwingungsmessung	450
7.3.4	Lagerüberwachung durch Verschleißmessung	455
7.3.5	Dringlichkeit des Lagerausbaus bei angezeigtem Schaden	456
8	Beispiele für die Berechnung und Gestaltung von Wälzlagerungen	458
8.1	Lagerung eines Säulenkrans	459
8.2	Lagerung eines Kranlaufrades	462
8.3	Lagerung der Seilrolle einer Hakenflasche	466
8.4	Trommellagerungen eines Gurtförderers	470
8.5	Lagerung von Tragrollen für Gurtförderanlagen	476
8.6	Lagerung der Laufrollen eines Drehofens	482
8.7	Lagerung einer Schlägermühle	489
8.8	Lagerung der Erregerwelle einer Freischwing-Siebmaschine	493
8.9	Lagerung eines Kegelstirnradgetriebes	497
8.10	Lagerung des Antriebs der Vertikalwalzen für eine Grobblechstraße	504
8.11	Walzenlagerung der Fertigerüste einer Warmbandstraße	511
8.12	Lagerung eines Ventilators	516
8.13	Lagerung eines hochtourigen Schraubenverdichters	520
8.14	Lagerung eines Trockenzylinders in einer Papiermaschine	526
8.15	Lagerung eines Elektromotors	532
8.16	Lagerung des Fahrmotors einer elektrischen Lokomotive	537
8.17	Radsatz-Rollenlager für Schienenfahrzeuge	544
8.18	Pleuellagerungen	551
8.19	Vorderradlagerungen von Kraftfahrzeugen	558
8.20	Lagerung des 5-Gang-Schaltgetriebes eines Personenkraftwagens	565
8.21	Lagerung der Ritzelwelle des Hinterachsantriebes eines Personenkraftwagens	572
8.22	Lagerung eines Schiffsgetriebes	578
8.23	Schiffspropeller-Drucklager	583
8.24	Schiffswellen-Lauflager	587
8.25	Lagerung eines Schiffsruders	591
8.26	Lagerung von Drehmaschinen-Hauptspindeln	594
8.27	Lagerung einer Bohrungsschleifspindel	600
8.28	Lagerung eines Flächenschleifmotors	602
8.29	Lagerung von schnellaufenden Holzfräsen mit senkrechter Welle	604
Schrifttum		606
Sachverzeichnis		628