

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

	Seite
<b>1 Allgemeine Grundlagen</b>	<b>1</b>
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 Kurzzeichen der Wälzlager	67
<b>2 Grundlagen der Lagerberechnung</b>	<b>74</b>
2.1 Geometrie der Wälzlager	74
2.1.1 Punktberührung und Linienberührung	75
2.1.2 Schmiegun	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 Hertzschen 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

2.5	Federung .....	131
2.5.1	Radiale Federung .....	132
2.5.2	Axiale Federung .....	134
2.5.3	Vergleich einiger Federungswerte .....	137
<b>3</b>	<b>Tragfähigkeit und Gebrauchsdauer .....</b>	<b>138</b>
3.1	Statische Beanspruchung .....	139
3.1.1	Plastische Verformung .....	139
3.1.2	Zulässige statische Rollkörperbelastung .....	141
3.1.3	Statische Tragzahl $C_0$ .....	142
3.1.4	Statisch äquivalente Belastung $P_0$ .....	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 Ermüdungslebensdauer .....	152
3.3	Dynamische Tragfähigkeit .....	152
3.3.1	Die nominelle Ermüdungslebensdauer .....	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
<b>4</b>	<b>Reibung, Temperatur und Schmierung .....</b>	<b>210</b>
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	Schmierv Verfahren	235
4.4.1	Fettschmierung	236
4.4.2	Ölschmierung	236
4.4.3	Feststoffschmierung	237
4.4.4	Wahl des Schmiervverfahrens	237
4.4.5	Beispiele der unterschiedlichen Schmiervverfahren	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
<b>5</b>	<b>Grundlagen für die Konstruktion der Lagerung</b>	<b>290</b>
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

5.8.4	Spannungen und Dehnungen bei strammen Sitzen .....	330
5.9	Radialluft vor dem Einbau und Radialspiel im Betrieb .....	339
<b>6</b>	<b>Gestaltung der Lagerstelle .....</b>	<b>342</b>
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	Tangentiale 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
<b>7</b>	<b>Wälzlagerschäden .....</b>	<b>421</b>
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
<b>8</b>	<b>Beispiele für die Berechnung und Gestaltung von Wälzlagerungen</b>	<b>458</b>
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 Fertiggerüste einer Warmbandstraße .....	511
8.12	Lagerung eines Ventilators .....	516
8.13	Lagerung eines hochtourigen Schraubenverdichters .....	520
8.14	Lagerung eines Trockenzyllinders 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