

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen von Wälzlagern	1
1.1 Typen von Wälzlagern	1
1.2 Anwendungen von Wälzlagern	2
1.3 Wälzlagerkomponenten	3
1.4 Wälzlagerkrümmungen	11
1.5 Wälzlagerdrehzahlen	17
Literatur	18
2 Auslegung von Wälzlagern	19
2.1 Auslegungsregeln für Wälzlager	19
2.2 Berechnungen der Lasten auf die Wälzlager	21
2.2.1 Zwei-Lager-System für starre Rotoren	22
2.2.2 Drei-Lager-System für flexible Rotoren	23
2.3 Statische Tragzahl	25
2.4 Dynamische Tragzahl	28
2.5 Äquivalente Dynamische Last auf die Wälzlager	30
2.6 Lasten auf die Wälzelemente unter einer äquivalenten Last	32
2.7 Betriebskontaktwinkel unter einer Axiallast	38
2.8 Lasten auf die Wälzelemente unter einer kombinierten Last	42
Literatur	48
3 Kontaktspannungen in Wälzlagern	49
3.1 Hertzsche Pressungen in der Kontaktzone	49
3.2 Numerische Rechenverfahren zur Bestimmung der Hertzschen Pressung ...	50
3.3 Fallstudie zur Hertzschen Pressung	56
3.4 Scherspannungen in der Unterfläche der Hertzschen Kontaktzone	58
3.5 Einflussparameter der Hertzschen Pressung	62
Literatur	64
4 Schmierfilmdicken in Wälzlagern	65
4.1 Einführung	65
4.2 Hydrodynamische und elastohydrodynamische Schmierungen	65

4.3	Schmierfilmdrücke in der Hertzschen Kontaktzone	69
4.4	Numerische Rechenverfahren zur Bestimmung der Schmierfilmdicken	73
4.4.1	Grundgleichungen für die Schmierfilmdicken	77
4.4.2	Schmierfilmdicke für Rillenkugellager	78
4.4.3	Schmierfilmdicke für Zylinderrollenlager	79
4.4.4	Druckspitze im Schmierfilm für Zylinderrollenlager	80
4.5	Einflüsse der Schmierfilmdicke auf Verschleißmechanismen	81
4.6	Fallstudien für die Schmierfilmdicken	82
	Literatur	85
5	Tribologie in Wälzlagern	87
5.1	Einführung	87
5.2	Eigenschaften der Schmieröle	87
5.3	Fettschmierungen in Wälzlagern	90
5.4	HTHS-Viskosität der Schmieröle	92
5.5	Viskositätsindex der Schmieröle	96
5.6	Stribeck-Kurve	98
5.7	Parameter der Oberflächentexturen	101
5.7.1	Profile der Oberflächenrauheit	102
5.7.2	Parameter der Oberflächenrauheit	104
5.8	Elastische und Plastische Deformationen in Wälzlagern	113
5.8.1	Normalspannung	113
5.8.2	Scherspannung	114
5.8.3	Reibungskräfte in Wälzlagern	115
5.8.4	Reibleistung in Wälzlagern	118
5.8.5	Mohrscher Spannungskreis	120
	Literatur	122
6	Lebensdauer der Wälzlager	123
6.1	Einführung	123
6.2	Lebensdauer durch Materialermüdung der Wälzlager	123
6.2.1	Erweiterte Ermüdungslebensdauer	123
6.2.2	Ermüdungslebensdauer bei Punktkontakt im Kugellager	136
6.2.3	Ermüdungslebensdauer bei Linienkontakt im Zylinderrollenlager	139
6.3	Lebensdauerfaktoren	141
6.4	Lebensdauer des Schmierfetts im Wälzlager	143
6.5	Ölausblutungsdauer des Schmierfetts im Wälzlager	144
6.6	Fallstudie zur Berechnung der Lebensdauer eines Wälzlagers	145
	Literatur	148
7	Zuverlässigkeitstheorie mit der Weibull-Verteilung	149
7.1	Einführung	149
7.2	Weibull-Verteilung	149

7.3	Wahrscheinlichkeit für die Überlebensproben	152
7.4	Dichtefunktion der Weibull-Verteilung	154
7.5	Zeitintervall zwischen den Probenausfällen	157
7.6	Erwartungswert, Varianz und Medianwert der Lebensdauer	158
7.7	Perzentil-Lebensdauer	162
7.8	Schätzungen der Werte für die Parameter β und η	165
7.8.1	Weibull-Plot (WP)	165
7.8.2	Maximum-Likelihood-Methode (ML)	168
7.9	Berechnungen der Systemlebensdauer	173
7.9.1	Beweis der Gl. 7.33	173
7.9.2	Rechenbeispiele	175
7.10	Ausfallrate-Funktion	175
7.11	Weibull-Regressionsmodell	178
7.12	Monte-Carlo-Simulation	180
	Literatur	182
8	Lagerreibung und Versagenmechanismen	183
8.1	Reibungen in Wälzlagern	183
8.2	Versagenmechanismen in Wälzlagern	185
8.2.1	Initiierte Oberflächenmikrorisse	190
8.2.2	Initiierte Unterflächenmikrorisse	192
8.2.3	Riffelbildung	194
8.2.4	Oberflächenabschürfung	196
	Literatur	197
9	Rotorauswuchten und NVH in Wälzlagern	199
9.1	Gründe für Rotorauswuchten	199
9.2	Auswuchttypen	200
9.3	Niedertouriges Zwei-Ebenen-Auswuchten für starre Rotoren	200
9.4	NVH in Wälzlagern	208
9.4.1	Erregungsfrequenzen	208
9.4.2	Induzierte Geräusche in Wälzlagern	213
9.4.3	Induzierte Geräusche durch Lagerdefekte	216
9.5	Körperschall und Luftschall in Wälzlagern	219
	Literatur	220
Anhang A: Dichtefunktion und Kumulative Funktion der Gaußschen Verteilung		223
Anhang B: Maximum-Likelihood-Methode		227
Anhang C: Die Simpsonsche Regel		231
Anhang D: Kinematik der Wälzlager		239

Anhang E: Regression mithilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate	245
Anhang F: Gesetze der großen Zahlen in der Statistik.....	253
Stichwortverzeichnis	257