

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen	10
1. Technische Diagnostik von Wälzlagern – ein Beitrag für den optimalen Betrieb von Maschinen und Anlagen	13
1.1. Instandhaltung und Anlagenüberwachung	13
1.2. Zuverlässigkeit von Wälzlager-Rotor-Baugruppen	14
1.3. Aufgaben der Wälzlagerdiagnostik	16
2. Wälzlagerkenngrößen für die Diagnostik	18
2.1. Konstruktionsmerkmale	18
2.1.1. Belastungen und Belastungsrichtung	18
2.1.2. Drehzahl	21
2.1.3. Werkstoffe und Betriebstemperatur	21
2.1.4. Schmierung und Abdichtung	22
2.1.5. Fertigungsqualität	23
2.1.6. Montage	24
2.1.7. Kennzeichnung	25
2.2. Geometrie der Wälzlager	26
2.3. Kinematik und kinematische Frequenzen	27
2.3.1. Kinematik bei idealem Rollen	28
2.3.2. Kinematik bei einseitiger Wälzkörperführung	32
2.4. Dynamik von Wälzlagern	34
2.4.1. Kräfte und Momente	34
2.4.2. Flächenpressung und Deformation	35
2.4.3. Druckwinkel und Belastung	37
2.5. Bauteilresonanzen	37
2.5.1. Biegeeigenschwingung des Wälzlageraußenringes	38
2.5.2. Kugelresonanzfrequenz	40
2.6. Schwingungen eines Wälzlagers	40
2.6.1. Drehbewegung der treibenden Welle	40
2.6.2. Frequenzen der Wälzlagerkinematik	41
2.6.3. Schwingungen infolge von Maß- und Formabweichungen	41
2.6.4. Resonanzfrequenzen des Wälzlageraußenringes	42
2.6.5. Weitere Bestandteile des Schwingungsspektrums eines Wälzlagers	42
2.6.6. Schwingungsspektrum	43

3.	Ermittlung des technischen Zustandes von Wälzlagern	44
3.1.	Wälzlagerschädigung	44
3.1.1.	Einflußgrößen	44
3.1.2.	Schädigung durch Ermüdung	45
3.1.3.	Lagerverschleiß	47
3.1.4.	Stochastik des Schädigungsprozesses	47
3.2.	Schädigungsbilder	48
3.3.	Zustandsermittlung durch Lebensdauerberechnung	52
3.3.1.	Die Lebensdauergleichung	53
3.3.2.	Modifizierte Lebensdauergleichungen	55
3.4.	Zustandsermittlung durch technische Diagnostik	57
3.4.1.	Diagnosemodell	57
3.4.2.	Diagnoseparameter	59
3.4.3.	Informationsgewinnung	59
4.	Messung und Analyse diagnostischer Signale	61
4.1.	Charakterisierung diagnostischer Signale	61
4.1.1.	Klassifikation von Signaltypen	62
4.1.2.	Determinierte Signale	62
4.1.3.	Stochastische Signale	65
4.2.	Signalkenngrößen	66
4.3.	Signalkennfunktionen	67
4.4.	Kennfunktionen zur Beschreibung eines Einzelsignals	68
4.4.1.	Wahrscheinlichkeitsverteilung und Wahrscheinlichkeitsdichte	68
4.4.2.	Autokorrelationsfunktion	71
4.4.3.	Spektrale Leistungsdichte, Autospektraldichte	71
4.5.	Kennfunktionen zur Beschreibung der Signalverwandtschaft zweier Signale	72
4.5.1.	Verbundwahrscheinlichkeitsdichte	72
4.5.2.	Kreuzkorrelationsfunktion	73
4.5.3.	Kreuzspektraldichte und Kohärenzfunktion	73
4.5.4.	Kennfunktionen zur Beschreibung des Systemübertragungsverhaltens	74
4.6.	Problemorientierte Auswerteverfahren	74
4.6.1.	Normierung auf den Ausgangszustand	75
4.6.2.	Impulsanalyse	75
4.6.3.	Hüllkurvenextraktion	76
4.6.4.	Averaging	76
4.6.5.	Cepstrum-Funktion	77
4.7.	Signalanalyse als Datenreduktion	78

4.8.	Praktische Signalverarbeitung	78
4.8.1.	Anforderungen an Signalerfassungs- und Signalverarbeitungssysteme	78
4.8.2.	Weg – Geschwindigkeit – Beschleunigung	82
4.8.3.	Das Dezibel	86
4.8.4.	Meßwertaufbereitung	86
4.8.5.	Meßwertersparung	88
4.8.6.	Meßwertaufbereitung	89
4.8.7.	Meßwertanalyse	91
4.9.	Fehlerbetrachtung zur Diagnoseeinrichtung	93
4.9.1.	Fehler der Meßkette	94
4.9.2.	Analysierfehler	94
5.	Experimentelle Ergebnisse zur Auswahl von Diagnoseparametern	95
5.1.	Charakteristische Parameter zur Beschreibung der Wälzlagerschädigung :	95
5.2.	Analyse von Einflußgrößen auf die Beanspruchung	96
5.2.1.	Fertigung	96
5.2.2.	Montage	99
5.2.3.	Betrieb	101
5.2.4.	Umgebung	102
5.2.5.	Schlußfolgerungen	103
5.3.	Diagnose von Schädigungen	103
5.3.1.	Ermüdung	103
5.3.2.	Verschleiß	109
5.3.3.	Korrosion	109
5.3.4.	Gewaltnutzung	116
5.3.5.	Schlußfolgerungen	118
5.4.	Komplexe Schädigungen	118
5.4.1.	Charakter komplexer Schädigungen im Signalbild	118
5.4.2.	Lineare Überlagerungen	119
5.4.3.	Nichtlineare Überlagerungen	119
5.4.4.	Einordnung überlagerter Schädigungen	123
5.5.	Zeitlicher Verlauf der Schädigung	123
6.	Verfahren und Geräte der Wälzlagerdiagnostik	128
6.1.	Überblick	128
6.2.	Diagnostik im Fertigungs- und Montageprozeß	128
6.2.1.	Lageranschlußteile	128
6.2.2.	Wälzlager-einzelteile	129
6.2.3.	Montiertes Lager	131
6.3.	Diagnostik bei Anlagenstillstand	132
6.3.1.	Sichtkontrolle	132
6.3.2.	Lagerspielkontrolle	133

6.4.	Diagnostik während des Betriebes	133
6.4.1.	Geräuschüberwachung	133
6.4.2.	Schwingungsüberwachung	134
6.4.3.	Verfahren mit festen Klassengrenzen des Effektivwertes	136
6.4.4.	Kurtosis-Methode	140
6.4.5.	Diagnosekennwert $K(t)$	142
6.4.6.	Stoßimpuls-Meßmethode	143
6.4.7.	Impulsdichteanalyse	146
6.4.8.	Temperaturüberwachung	147
6.4.9.	Weitere Diagnoseverfahren	148
6.4.10.	Überwachungssysteme	150
6.5.	Bewertung von Diagnoseparametern und Diagnosemethoden	151
6.5.1.	Grenzen der Bewertung	151
6.5.2.	Eignung von Kenngrößen und Kennfunktionen für die Diagnostik	151
6.5.3.	Diagnosezuverlässigkeit	152
7.	Einführung von Diagnosemethoden im praktischen Betrieb	155
7.1.	Allgemeine Verfahrensweise bei der Auswahl von Diagnosemethoden	155
7.1.1.	Analyse des Diagnoseobjekts	155
7.1.2.	Auswahl der Meßwertgewinnung und Signalanalyse	155
7.1.3.	Auswahl der Bewertungsalgorithmen	156
7.1.4.	Entscheidung über das einzusetzende Gerätesystem	156
7.2.	Diagnosekonzeption	157
7.2.1.	Anwendungsbereich	157
7.2.2.	Bewertung der Schadensfolgen	157
7.2.3.	Untersuchung der technischen Einsatzbedingungen	158
7.2.4.	Kontrollwirkungsgrad	159
7.2.5.	Ökonomische Bewertung	159
7.2.6.	Zusammenfassung	161
7.3.	Leistungsvergleich von Diagnosetechnik	161
7.3.1.	Qualitativer Leistungsvergleich	162
7.3.2.	Quantifizierung des Leistungsvergleichs	162
7.4.	Lebensdauerüberwachung mit Hilfe diagnostischer Verfahren	163
	Literaturverzeichnis	164
	Sachwörterverzeichnis	170