

Teil I Grundlagen nach VDI 3832

1 Einführung, historischer Überblick und Grundlagen der Wälzlagerdiagnose	3
1.1 Einführung zur Wälzlagerdiagnose und historischer Überblick	3
1.2 Grundprinzipien der Maschinendiagnose in der Geometrie im Betrieb, in der Schwingstärke und dem Körperschall	6
1.3 Abgrenzung der Methodik des Körperschalls	8
1.4 Mechanische Schwingungen – Geometrieabstände, Schwingstärke, Körperschall	10
Literatur	17
2 Statistische Erfassung des Betriebsverhaltens von Wälzlagern	19
2.1 Eigenschwingverhalten der Bauteile	19
2.2 Randbedingungen der Wälzlagerdiagnose	21
2.3 Normalbetrieb von Rollenlagern in Radiallagern	23
2.4 Normalbetrieb von Kugellagern und kombinierten Radial- und Axiallagern	26
2.5 Wälzlagerung – Betrieb in der Maschine	31
2.6 Besondere Wälzlagerungen und Wälzkörpertypen in Wälzlagern	35
2.6.1 Horizontale und vertikale Rotor-Lager-Systeme	35
2.6.2 Lastzonen in vertikalen Rotoren	36
2.7 Optimale Schmierung im Wälzlager	38
Literatur	44
3 Wälzlager- und Maschinenfehler und Schadensarten in Wälzlagern	45
3.1 Maschinenfehler beeinflussen Wälzlagerzustand und Wälzlagerfehler ...	45
3.2 Übersicht der Wälzlagerfehler und -schäden	47
3.3 Auslegungs- und Designfehler in Wälzlagerungen	50
3.4 Schmierungsfehler und Schmierstoffschädigungen – kritisches Risikopotenzial	54
3.5 Geometriefehler im Wälzlagerbetrieb – Risiken für Schadensentstehung ...	60

3.6	Verschleißschädigungen an Wälzlagern – fallspezifische Schadensgrenzen des Verschleißes	66
3.7	Übliche Gebrauchsspuren – der Betrieb geht weiter	68
3.8	Ausdehnende Laufbahnschäden – bis zum Ende im Lagerwechsel statt im Ausfall	70
	Literatur	77
4	Körperschallanregungen im Wälzlager, Schadensgeometrie und Körperschall-Übertragung zum Aufnehmer	79
4.1	Wälzlagerinduzierter Körperschall im Normalbetrieb	79
4.2	Körperschallanregungen bei Laufbahnschäden und Schadensgeometrie ..	80
4.3	Körperschallweiterleitung bis zum Aufnehmer und Messstellenauswahl ..	86
4.4	Störender Körperschall: wälzlager- oder fremdinduziert	91
4.5	Schadensüberrollung – Kinematik am Wälzlager	94
4.6	Fehleranregungen – Komplexität im und am Wälzlager	98
	Literatur	99
5	Einsatzfälle von Wälzlagertypen und Sonderfälle im Betrieb	101
5.1	Unterschiede von Radial- und Axiallager und Los- und Festlager	101
5.2	Wälzkörpertypen in Wälzlagern	102
5.3	Kugel- und Rollenlager – Punkt- und Linienkontakte	105
	Literatur	107
6	Körperschallmessung und Signalverarbeitungs-Verfahren	109
6.1	Einfache und komplexe Wälzlagerungen	109
6.2	Aufnehmer zur Körperschallmessung und deren Ankopplung	112
6.3	A/D-Wandlung der Sensorsignale	115
6.4	Messkette mit Signalverarbeitung zur Wälzlagerdiagnose	116
6.5	Regeln der Körperschallmessung am Wälzlager	119
	Literatur	121
Teil II Erweiterung in Anwendung nach VDI 3832		
7	Anwendung breitbandiger Kennwerte in einfachen Wälzlagerungen	125
7.1	Überblick der breitbandigen Kennwerte nach [1]	125
7.2	Methodik der breitbandigen Kennwerte in dem Hüllkurvensignal der Schwingbeschleunigung	129
7.3	Zusammenfassung zu breitbandigen Kennwerte der Schwingbeschleunigung	130
7.4	Methodik der breitbandigen Kennwerte in der Stoßimpulsmethode	132
7.5	Anwendung in einfachen Wälzlagerungen und Signalanalyse spezieller Frequenzbereiche	142
	Literatur	144

8	Signalanalyse und Anwendung schmalbandiger Kennwerte in komplexen Wälzlagerungen	145
8.1	Überrollungen bei Schäden und Fehlern auf den Laufbahnen im Wälzlager	145
8.2	Überblick zur Methodik der Signalanalyse	147
8.3	Hüllkurvenbildung und schmalbandige Kennwerte.	149
8.4	Schmalbandige Kennwerte im Wälzlager aus bauteilspezifischen Überrollfrequenzen	150
8.5	Anwendung schmalbandiger Kennwerte in der Wälzlagerüberwachung.	157
8.6	Signalanalyse zur Wälzlagerdiagnose	160
8.6.1	Wälzlagerdiagnose im „Körperschall-Zeitsignal“	160
8.6.2	Wälzlagerdiagnose im „Breitbandspektrum“	162
8.6.3	Wälzlagerdiagnose im „Grundspektrum“	163
8.6.4	Wälzlagerdiagnose im „Hüllkurvenzeitsignal und -spektrum“	165
8.6.5	Wälzlagerdiagnose im „Signalplot“	167
8.6.6	Diagnose von Wälzlagerfehlern im Signalplot (Fehlerzonen).	168
	Literatur.	172
9	Schadensausmaß und Wälzlagerfehler in Kennwerten und Signalmerkmalen	175
9.1	Laufbahn-Schadensstufen nach VDI erkennen und bewerten	175
9.2	„Ungeschädigte“ Laufbahn nach VDI im Merkmalsmuster erkennen	179
9.3	„Beginnende“ Laufbahnschäden im Merkmalsmuster nach VDI erkennen.	180
9.4	„Übergangsstadium“ von Laufbahnschäden im Merkmalsmuster nach VDI erkennen	181
9.5	Schadens – und Fehlerunterscheidung in Kennwerten und im Signalplot.	183
	Literatur.	186
10	Wälzlagerdiagnose und -überwachung: Konzepte und Messsysteme	187
10.1	Überblick der Methoden zur Erfassung des Wälzlagerzustandes	187
10.2	Methodik und Ausbildung zur Wälzlager-Körperschalldiagnose	189
10.3	Konzepte zum Betrieb über die Lebensdauer und das Ausfallverhalten	190
10.4	Überwachung und Diagnose – Aufgaben und Anwendung über Lebensdauer	196
10.5	Überwachungssysteme für Maschinenparks – Maschinenklassen und Überwachungskonzeption	202
10.6	Offline- und Onlineüberwachung – Überblick der Anwendungen und System-Gestaltung.	204
10.7	Erweiterte Diagnoseaufgaben	208
10.8	Wälzlagerprüfstände zur Qualitätsbewertung	211
	Literatur.	213

11	Trendüberwachung über Lebensdauer	215
11.1	Datensammel-Systeme mit Messstellen-Ankopplung und -erkennung und Drehzahl- und Leistungserfassung auf der Maschinenseite	215
11.2	Offlineüberwachung mit Datensammlern	217
11.3	Offline-Zustandsüberwachung (CMS) mit Datensammelsystemen und Auswertesoftware	221
11.4	Einzelkanal Online-Überwachung an Steuerungen	223
11.5	Lokale Wälzlager-CMS mit Smart-Sensoren	227
11.6	Mehrkanalige Multiplex-Online-CMS an Nebenaggregaten	229
11.7	Mehrkanalige parallele Online-CMS an Hauptaggregaten	232
	Literatur	234
12	Systementwicklung in der Wälzlagerdiagnose und -überwachung	237
12.1	Abnahmen, Überwachungen, Diagnosen – Potenziale nutzen am Wälzlager	237
12.2	Zukünftige optimale CMS-Systeme – wälzlagergerecht und vernetzt . . .	238
12.3	Entwicklung der Methoden und der Überwachungs- und Diagnoseverfahren	238
	12.3.1 Erweiterung der Methodik der Wälzlagerdiagnose	238
	12.3.2 Entwicklung der Signalanalyse, Diagnose und Überwachung . . .	240
	12.3.3 Automatische Wälzlagerdiagnose an Maschinensätzen	240
	Literatur	242
13	Fallbeispiele zu Wälzlagerfehlern und -schäden im Betrieb	245
13.1	Lagerschäden durch Fehlausrichtung an Umluftgebläse nach [1]	245
13.2	Wälzkörperschaden im Motor eines Ventilators nach [6]	253
13.3	Außenringschaden im Ventilator im Pendelrollenlager nach [6]	255
13.4	Ventilator mit Innenringschaden im Kugellager nach [6]	257
13.5	Ventilator mit Käfigschaden im Pendelrollenlager nach [6]	260
13.6	Radialventilator mit Kugelschaden nach [6]	263
13.7	Antriebsmotor Walzenantrieb – Innenringschaden, instationärer Betrieb und wechselnde Fehler- und Schadenszustände nach [8]	265
13.8	Wärmetauscher-Gebläse – Außenringschaden Pendelrollenlager nach [8]	270
13.9	Schraubenverdichter – Käfigschaden am Zylinderrollenlager des separaten Antriebsmotors nach [8]	274
13.10	Antriebsmotor mit vertikaler Welle, vertikale Ausrichtung, Käfigschäden – Totalschäden nach [10]	279
13.11	Geteilte Lager an Radialventilatoren, instationäre Betriebszustände und Lagerfehler, -schäden sowie Gebrauchsspuren nach [10]	285
13.12	Wälzlagerfehler an Generator an WEA nach [11]	291
13.13	Wälzlagerschaden an Hauptlager einer WEA nach [11]	295

13.14	Stromdurchgang am Antriebsmotor und Getriebe eines Walzgerüsts vgl. [11]	299
13.15	Laufbahnschaden durch designbedingte Überlastung am Rollenlager [15].	304
	Literatur.	309
14	Zusammenfassung und praktische Anwendungsgrundsätze der Wälzlager-diagnose und -überwachung im Wälzlagerbetrieb	311
14.1	Grundmerkmale im Wälzlagerbetrieb und deren Unterstützung nach [1]	311
14.2	Messregeln und Regeln der Signalverarbeitung am Wälzlager	312
14.3	Orientierung zu den Anwendungsgebieten von Wälzlagerungen	314
14.4	Merkmale in Wälzlagerüberwachung und -diagnose.	316
14.5	Praktische Anwendungshinweise in Wälzlagerdiagnose und -betrieb.	318
	Literatur.	320
	Glossar und Abkürzungen	321