



OTTO VON GUERICKE  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG

**MB**

FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU

# Simulation von Wälzlagerschäden unter Berücksichtigung variabler Betriebsbedingungen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur  
(Dr.-Ing.)

von Dipl.-Ing. Tahsin Doguer

geb. am 17.05.1973 in Ankara

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Strackeljan  
Prof. Dr.-Ing. Sulo Lahdelma

Promotionskolloquium am 19.03.2013

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Wälzlager . . . . .	3
1.2 Wälzlagerschäden . . . . .	4
1.3 Stand der Forschung . . . . .	9
1.3.1 Diagnoseverfahren zur Erkennung von Wälzlagerschäden . . . . .	9
1.3.2 Möglichkeiten der Schadensmodellierung in Wälzlagern . . . . .	12
1.4 Festlegung der Probleme und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	19
<b>2 Theoretische Grundlagen der Dynamiksimulation</b>	<b>23</b>
2.1 Wälzlagermodellierung in der Mehrkörpersimulation . . . . .	23
2.2 Kontaktmodellierung . . . . .	29
2.2.1 Kinematische Grundlagen . . . . .	29
2.2.2 Kontaktkräfte . . . . .	32
2.2.3 Stoßtheorie und Validierung . . . . .	39
2.3 Materialparameter . . . . .	44
2.3.1 Materialsteifigkeit und Materialdämpfung . . . . .	48
2.4 Dissipativer Anteil in geschmierten Kontakten . . . . .	50
2.4.1 Dämpfungsmodelle für EHD Kontakt . . . . .	53
2.4.2 Modellierung von geschmiertem Kontakt . . . . .	57
2.5 Modellgrenzen . . . . .	62
<b>3 Simulation von Wälzlagerschäden</b>	<b>65</b>
3.1 Modellierung von Lokalschäden . . . . .	65
3.2 Simulation von Lokalschäden . . . . .	67
3.3 Validierung des Modells für Lokalschäden . . . . .	73
3.3.1 Außenringschaden . . . . .	73
3.3.2 Innenringschaden . . . . .	76
3.4 Modellierung von flächendeckenden Schäden . . . . .	80
3.5 Simulation von flächendeckenden Schäden unter realen Lastbedingungen . . . . .	85
3.5.1 Raue Oberfläche und Unwucht . . . . .	85
3.5.2 Signalgenerierung unter Berücksichtigung von Oberflächenrauheit, Unwucht und Lokalschaden . . . . .	89

3.5.3	Signalanalyse für Rauheit, Unwucht und erhöhte Lokalschadensbreite . . . . .	92
3.5.4	Generierung von realitätsnahen Signalen . . . . .	94
3.6	Simulation von Käfigschäden unter Einfluß von radialem Lagerspiel . . . . .	97
<b>4</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>101</b>
4.1	Anwendungen mit flächendeckenden Schäden in schnell drehenden Rotoren mit Wälzlagerungen . . . . .	101
<b>5</b>	<b>Methoden für Zustandsüberwachung</b>	<b>107</b>
5.1	Zeitsignale aus rauen Oberflächen . . . . .	107
5.2	Anwendung von höheren Ableitungen auf Wälzlager . . . . .	110
5.3	Empirische Modellbildung, Response Surface Methodology (RSM) . . . . .	115
5.4	Anwendung der RS auf Wälzlager . . . . .	121
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>133</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>145</b>