

# Vom tribologischen Modellversuch zum Maschinenelement: Berücksichtigung des rheologischen Verhaltens von Schmierstoffen in der Wälzlagersimulation

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik  
der Technischen Universität Kaiserslautern  
zur Verleihung des akademischen Grades

**Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)**  
genehmigte  
**Dissertation**

vorgelegt von  
**Herrn Dipl.-Ing. Torben Fruth**  
aus Worms

Tag der Einreichung: 14.08.2017  
Tag der mündlichen Prüfung: 21.02.2018

Dekan: Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig  
Prüfungsvorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Hans Hasse  
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer  
Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>3</b>
2.1	Wälzlagerschmierung . . . . .	3
2.2	Reibungsverhalten von Schmierstoffen . . . . .	7
2.3	Dynamiksimulation von Wälzlagern . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Ziel der Arbeit</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Reibung im elasto-hydrodynamischen Kontakt</b>	<b>17</b>
4.1	Schmierstoffeigenschaften . . . . .	23
4.2	Schmierfilmdicke . . . . .	30
4.3	Fließverhalten von Schmierstoffen . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Tribometerversuche</b>	<b>44</b>
5.1	Kugel-Scheibe-Tribometer . . . . .	44
5.2	Zwei-Scheiben-Prüfstand . . . . .	48
5.3	Berücksichtigung des elastischen Schlupfanteils . . . . .	50
5.4	Mischreibungszustände . . . . .	52
5.5	Ableitung relevanter Schmierstoffkennwerte . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Modellbildung</b>	<b>59</b>
6.1	Kontaktmodellierung . . . . .	59
6.2	Reibungsbestandteile . . . . .	61
6.3	Mischreibung . . . . .	68
6.4	Messwertbasierte Reibungsbeschreibung . . . . .	70
6.5	Einzelkontaktanalyse . . . . .	73
<b>7</b>	<b>Kontaktanalyse im Wälzlager</b>	<b>84</b>
7.1	Zylinderrollenlager . . . . .	84
7.2	Rillenkugellager . . . . .	94
7.3	Schmierstoffeinfluss . . . . .	99
<b>8</b>	<b>Modellverifikation</b>	<b>103</b>
8.1	Einzelkontakt . . . . .	103
8.2	Wälzlagerdynamik . . . . .	105
<b>9</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>116</b>
9.1	Schmierstoffbewertung durch messwertbasierte Reibungsbeschreibung . . . . .	116

9.2 Einfluss von Vibrationsanregung auf Wälzlager . . . . .	121
<b>10 Zusammenfassung</b>	<b>131</b>
<b>A Anhang</b>	<b>134</b>
A.1 Daten der untersuchten Wälzlager . . . . .	134
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>136</b>