

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Stand der Forschung.....	3
1.3	Ziel und Inhalt der Arbeit.....	11
2	Grundlagen	13
2.1	Untersuchung der Walkarbeit mit Wälzlagern unterschiedlicher Bauart.....	13
2.2	Grundlegende Eigenschaften der Prüffette	15
2.3	Fettmenge im Wälzlager	16
2.4	Mindestlast von Wälzlagern	19
2.5	Rheologische Eigenschaften.....	20
2.6	Modelle zur Beschreibung des Fließverhaltens	21
3	Prüf- und Messtechnik	25
3.1	Wälzlagerprüfstände	25
3.1.1	Rotationstribometer.....	25
3.1.2	Hochdrehzahlprüfstand	27
3.1.3	Spezialtribometer	30
3.2	Hochgeschwindigkeitsaufnahmen.....	32
3.2.1	Hochgeschwindigkeitskamera.....	32
3.2.2	Wärmebildkamera	32
3.2.3	Messaufbau mit Hochgeschwindigkeitskamera	32
3.2.4	Messaufbau mit Wärmebildkamera.....	33
3.3	Rheometer	35
3.3.1	MCR 301	35
3.3.2	MCR 702e.....	36
3.3.3	Vergleich der Rheometer	37
4	Experimentelle Untersuchungen.....	38
4.1	Rheologische Untersuchungen	38
4.1.1	Scheinbare Viskosität nach DIN 51810-1.....	38
4.1.2	Speicher- und Verlustmodul nach DIN 51810-2.....	42
4.1.3	Ölabscheidung nach DIN 51817	43
4.1.4	Weitere rheologische Untersuchungen	45
4.2	Grundlegende Versuchsmethodik bei Wälzlagerversuchen.....	46
4.3	Rotationstribometer.....	50
4.3.1	Versuche ohne Temperierung.....	50
4.3.1.1	Wiederholversuche	52
4.3.1.2	Bestimmung der Walkarbeit.....	54

4.3.1.3	Schmierstoffmengenvariation	56
4.3.1.4	Anstieg im Reibmoment mit dem RRKL 6007.....	61
4.3.2	Versuche mit Temperierung (bei 80 °C).....	62
4.3.2.1	Wiederholversuche	63
4.3.2.2	Schmierstoffmengenvariation	64
4.3.3	Walkarbeit aus allen Versuchen.....	66
4.4	Wälzlagerhochdrehzahlprüfstand.....	72
4.4.1	Versuchsmethodik für hohe Drehzahlen	72
4.4.2	Schmierstoffmengenvariation bei 80 °C	76
4.5	Spezialtribometer	80
4.5.1	Versuche mit dem AZRL 81212	80
4.5.2	Versuche mit dem SKL 7007	84
4.5.3	Messungen mittels Wärmebildkamera	87
4.6	Vergleich der Wälzlagerprüfstände	90
4.7	Zusammenfassung zu den Wälzlagerversuchen	94
5	Numerische Simulation.....	97
5.1	Analytisches Schmierfettmodell	97
5.1.1	Bestimmung der Herschel-Bulkley-Koeffizienten	98
5.1.2	Besonderheiten der Regression und Modellmodifikation	100
5.1.3	Erweiterung des Modells um die Temperaturabhängigkeit	104
5.1.4	3D-Darstellung des entwickelten Schmierfettmodells	107
5.1.5	Erweiterung des Modells um die Grundölviskosität.....	109
5.1.6	Extrapolation hinsichtlich der Scherrate.....	109
5.2	CFD-Modell zum Rheometer	111
5.2.1	Randbedingungen.....	111
5.2.2	Berechnung des Reibmoments in der CFD.....	112
5.2.3	Netzstudie	115
5.3	CFD-Modell zum Wälzlager	117
5.3.1	Randbedingungen.....	117
5.3.2	Vernetzung.....	119
5.3.3	Mehrphasenströmung	121
5.3.4	Initiale Befettung	122
5.3.5	Konvergenz.....	123
5.3.6	Stationäre Simulation mit dem RRKL und dem SKL	124
5.3.7	Instationäre Simulation von AZRL.....	128
6	Diskussion der Ergebnisse	130
6.1	Vergleich zwischen Versuch und Simulation.....	130
6.1.1	Modellvalidierung mit Rheometer-Versuchen	130
6.1.2	Fettverteilung und Reibmoment in Wälzlagern	132
6.2	Abschließende Betrachtungen zum Fließverhalten.....	136

6.2.1	Veränderung des Fließverhaltens infolge der Beanspruchung	136
6.2.2	Scherversuche bei höchsten Scherraten	140
6.3	Einordnung der Ergebnisse.....	144
7	Zusammenfassung.....	150
8	Ausblick	152
9	Literatur.....	156