

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungen und Nomenklatur	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Stand der Technik.....	4
2.1 Verschleiß	5
2.1.1 Verschleißmechanismen	5
2.1.2 Verschleißarten	5
2.1.3 Wälzlagerverschleiß bei Mischreibung	6
2.1.4 Verschleißmodelle für den trockenen Kontakt	7
2.1.5 Verschleißmodelle für den geschmierten Kontakt	8
2.2 Reibung.....	8
2.3 Schmierstoffe und Schmierfilmbildung	10
2.3.1 Grundöle	10
2.3.2 Additive	11
2.3.3 Schmierfette	15
2.4 Schmierfilmbildung	17
2.4.1 Ölschmierung.....	17
2.4.2 Fettschmierung	18
3 Tribologische Grenzschichten	21
3.1 Beanspruchung im Wälzkontakt	21
3.2 Aufbau	21
3.3 Bildung	23
3.3.1 Einfluss des Werkstoffes und der Werkstoffoberfläche	23
3.3.2 Einfluss der Schmierölzusammensetzung	23
3.3.3 Einfluss der mechanischen Beanspruchung und Schmierungsbedingung	23
3.3.4 Einfluss der Temperatur.....	24
3.3.5 Einfluss der Zeit.....	25
3.3.6 Grenzschichtbildung bei Fettschmierung.....	25
3.4 Wirkung.....	26
3.4.1 Schutzwirkung Adsorptionsschicht.....	26
3.4.2 Schutzwirkung Eisenoxid	29
3.4.3 Schutzwirkung additivbedingte Auftragsschicht.....	29
3.4.4 Einfluss von Einlaufprozessen	29

3.5	Synthese	30
3.6	Fazit.....	30
4	Prüfverfahren	32
4.1	Prüflager	32
4.2	Prüfstände.....	33
4.2.1	Axiallager-Prüfstand	33
4.2.2	Radiallager-Prüfstand.....	35
4.3	Schmierstoffe	35
4.4	Analyseverfahren.....	37
4.4.1	ESMA	37
4.4.2	FIB-TEM.....	37
4.4.3	Nanoindenter-Analyse.....	38
5	Experimentelle Untersuchungen	39
5.1	Versuchsbedingungen	39
5.1.1	Axiallagerversuche.....	39
5.1.2	Radiallagerversuche	41
5.1.3	Synthese	42
5.2	Ergebnisse Axiallager.....	43
5.2.1	Vorversuche	43
5.2.2	Verschleißversuche	44
5.2.3	Einlaufversuche.....	46
5.2.4	Fazit Einlaufversuche.....	49
5.2.5	Verschleißverhalten nach Einlaufversuchen.....	49
5.2.6	Verschleißschutz durch additivbedingte Grenzschichten	51
5.3	Ergebnisse Radiallager	52
5.4	Ergebnisse Schichtsynthese.....	53
5.5	Fazit.....	53
6	Analyse der Grenzschichten	55
6.1	Einlaufprozesse	55
6.1.1	ESMA-Untersuchungen	55
6.1.2	FIB-TEM Untersuchungen.....	59
6.1.3	Oberflächenrauheiten nach Einlaufprozessen.....	62
6.1.4	Nanoindenter-Untersuchungen.....	63
6.2	Einlaufprozess mit anschließendem Verschleißtest.....	66
6.2.1	ESMA	66
6.2.2	FIB-TEM-Untersuchungen	68
6.2.3	Nanoindenter-Untersuchungen.....	70

6.3	Zeitliche Schichtbildung Radiallager	72
6.4	Schichtbildung Synthese	73
6.4.1	Eisenoxidschichten	73
6.4.2	Additivbedingte Schichten.....	75
6.5	Fazit	76
7	Theoretische Untersuchungen.....	77
7.1	Anzahl Kontaktvorgänge	77
7.1.1	Axiallager	77
7.1.2	Radiallager.....	78
7.2	Reibleistung	80
7.3	Kontakttemperatur	85
7.4	Mikrokontakt-Modellierung.....	87
7.4.1	Nanoindenter-FEM-Modell und Simulation	87
7.4.2	Belastungen im Mikrokontakt.....	89
7.5	Fazit	92
8	Auswertung.....	94
8.1	Schmierstoffabhängiger Verschleißschutz	94
8.2	Grenzschichtaufbau.....	94
8.3	Grenzschichtbildung	95
8.4	Wirkungsweise der Grenzschichten	97
8.4.1	Additivbedingte Grenzschichten.....	97
8.4.2	Oxidschichten	97
8.4.3	Tribomutationsschicht	99
8.5	Grenzschichtsynthese.....	99
8.5.1	Eisenoxidschichten	99
8.5.2	Additivbedingte Schichten.....	100
9	Zusammenfassung.....	101
10	Literaturverzeichnis.....	104
11	Anhang.....	114
11.1	ESMA-Untersuchungen nach unterschiedlichen Einlaufzeiten.....	114
11.2	Funktionswerte für das Greenwood-Williamson-Modell.....	122