

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>x</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Kenntnisstand und Zielsetzung</b>	<b>5</b>
2.1 Wälzlager in der Luftfahrt .....	5
2.2 Dreipunktlager als Triebwerkslager.....	8
2.3 Heutiger Wissensstand: Triebwerkslagerschmierung, Kontaktmechanik und Werkstoffanstrengung .....	10
2.3.1 Lagerschmierkühlung, -verlustleistung und -temperatur.....	10
2.3.2 Kontaktgeometrie .....	16
2.3.3 Kontaktmechanik und Werkstoffanstrengung .....	18
2.3.4 Hydrodynamische Schmierung und Viskosität .....	23
2.3.5 Elastohydrodynamische Schmierung (EHD).....	27
2.3.6 Lagerlebensdauer.....	31
2.4 Motivation und Zielsetzung der Arbeit.....	34
2.4.1 Motivation der Arbeit .....	34
2.4.2 Zielsetzung der Arbeit und Lösungsweg .....	35
<b>3 Untersuchungen zur Reduzierung der Verlustleistung und Beanspruchung im Triebwerkskugellager mittels direkter Außenringkühlung</b>	<b>39</b>
3.1 Konzept der direkten Außenringkühlung .....	39
3.2 Prüflager und Prüfstands Aufbau.....	40
3.3 Prüfplan und Testparameter.....	48
3.4 Experimentelle Ergebnisse .....	49

---

3.4.1 Ölzuführwirkungsgrad und Pumpwirkung.....	49
3.4.2 Temperaturen .....	53
3.4.3 Wärme- und Verlustleistung .....	62
3.4.4 Einfluss der Flussrichtung des Kühlkanalölstroms .....	74
3.4.5 Experimentelle Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität des Schmierkühlöls .....	76
3.5 Theoretische Betrachtungen.....	79
3.5.1 Druckverluste im Kühlkanal .....	80
3.5.2 Wärmeübertragungsmodell .....	87
3.5.3 Einfluss der äußeren Randbedingungen auf die Temperaturverteilung (Sensitivitätsanalyse) .....	93
3.5.4 Ergebnisse für einen Kühlkanal mit rechteckigem Strömungsquerschnitt (Basiskonfiguration) .....	98
3.5.5 Ergebnisse für einen Kühlkanal mit einem halbkreisförmigen Strömungsquerschnitt .....	102
3.5.6 Einfluss der Kühlkanalkonstruktion auf den Wärmeübergang und die Pumpenleistung.....	107
<b>4 Untersuchungen zur Reduzierung der Verlustleistung und Beanspruchung im Triebwerkskugellager mittels Schmiegungsvariation</b> .....	<b>113</b>
4.1 Bedeutung der Schmiegunge im Kugellager .....	114
4.2 Prüflager und Prüfstands Aufbau .....	115
4.3 Prüfplan und Testparameter .....	117
4.4 Ergebnisse .....	118
4.4.1 Temperaturen .....	118
4.4.2 Verlustleistungen .....	120
4.4.3 Bewertung der Ergebnisse .....	122
<b>5 Theoretische Untersuchungen zur Ermittlung der Beanspruchung und Verlustleistung im Wälzkontakt</b> .....	<b>125</b>
5.1 Bestimmung der Eingabegrößen für die TEHD-Berechnung .....	127

---

5.1.1 Gleitgeschwindigkeiten .....	127
5.1.2 Temperaturen.....	130
5.1.3 Kontaktbelastung und Hertzsche Theorie.....	131
5.1.4 Oberflächenrauheit .....	135
5.1.5 Relative Reibleistung.....	136
5.2 Modellierung des TEHD-Kontakts.....	138
5.3 Ergebnisse der TEHD-Berechnungen.....	145
5.3.1 Schmierfilmdicke und Temperaturen .....	146
5.3.2 Pressung, Scherspannungen und Reibung .....	151
5.3.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse .....	159
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>163</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>167</b>
<b>Anhang</b>	<b>177</b>