

# Inhaltsverzeichnis

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Abbildungen</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>Tabellen</b>   | <b>vii</b>  |
| <b>Symbole</b>  | <b>viii</b> |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>    |
| <b>2 Wissenschaftlicher Kenntnisstand</b>   | <b>4</b>    |
| 2.1 Lagerkammern im Gesamtsystem Flugtriebwerk . . . . .                                  | 4           |
| 2.1.1 Ölsystem eines Flugtriebwerks . . . . .   | 4           |
| 2.1.2 Herausforderungen bei der Auslegung einer Lagerkammer . . . . .                     | 6           |
| 2.2 Experimentelle Untersuchungen der Effekte in Lagerkammern . . . . .                   | 7           |
| 2.2.1 Strömungsphänomene in Lagerkammern . . . . .  | 8           |
| 2.2.2 Ölströmung . . . . .  | 10          |
| 2.2.3 Luftströmung . . . . .  | 13          |
| 2.2.4 Interaktion zwischen Ölfilm und Luftströmung . . . . .                              | 14          |
| 2.2.5 Interaktion zwischen Öltropfen und Luftströmung . . . . .                           | 15          |
| 2.2.6 Wärmeübergang . . . . .   | 16          |
| 2.2.7 Zusammenfassung der experimentellen Untersuchungen . . . . .                        | 20          |
| 2.3 Berechnungsansätze für Strömungen und Wärmeübergänge in Lagerkammern .                | 20          |
| 2.3.1 Analytische Ansätze . . . . .   | 21          |
| 2.3.2 Numerische Berechnung der reinen Luftströmung . . . . .                             | 21          |
| 2.3.3 Vereinfachte numerische Ansätze für die Berechnung der Zweiphasenströmung . . . . . | 22          |
| 2.3.4 Vollständige numerische Modellierung der Zweiphasenströmung . . . .                 | 23          |
| 2.3.5 Zusammenfassung der Berechnungsansätze . . . . .                                    | 24          |
| 2.4 Zusammenfassung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes . . . . .                      | 24          |
| <b>3 Zielsetzung und Vorgehensweise</b>   | <b>26</b>   |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>Experimenteller Aufbau</b>                                      | <b>28</b> |
| 4.1      | Lagerkammerprüfstand . . . . .                                     | 28        |
| 4.2      | Instrumentierung . . . . .   | 31        |
| 4.3      | Durchführung der Messreihen . . . . .                              | 33        |
| 4.4      | Filmdickenmessung . . . . .  | 33        |
| 4.4.1    | Messprinzip und Aufbau . . . . .                                   | 34        |
| 4.4.2    | Messprozedur . . . . .   | 35        |
| 4.4.3    | Messgenauigkeit . . . . .  | 35        |
| 4.5      | Wärmeübergangsmessung . . . . .                                    | 37        |
| 4.5.1    | Messprinzip und Aufbau . . . . .                                   | 37        |
| 4.5.2    | Messprozedur . . . . .   | 40        |
| 4.5.3    | Messgenauigkeit . . . . .  | 41        |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse und Diskussion</b>                                   | <b>44</b> |
| 5.1      | Bestimmung des Zweiphasenströmungsregimes . . . . .                | 44        |
| 5.1.1    | Strömungsregime in Lagerkammern . . . . .                          | 44        |
| 5.1.2    | Ölfilmverteilung am Umfang . . . . .                               | 45        |
| 5.1.3    | Identifizierung des Regimewechsels . . . . .                       | 46        |
| 5.1.4    | Öleinlauf vom Lager . . . . .                                      | 51        |
| 5.1.5    | Korrelation der kritischen Impulsstromdichte . . . . .             | 52        |
| 5.2      | Lokale Wandwärmeübergänge . . . . .                                | 53        |
| 5.2.1    | Durchgeführte Messungen . . . . .                                  | 53        |
| 5.2.2    | Messergebnisse . . . . .   | 54        |
| 5.2.3    | Bezug zum Strömungsregime . . . . .                                | 54        |
| 5.2.4    | Zusammenfassung . . . . .  | 59        |
| 5.3      | Lokale Filmtemperaturen . . . . .                                  | 61        |
| 5.3.1    | Ergebnisse . . . . .   | 61        |
| 5.3.2    | Interpretation der lokalen Temperaturabweichungen . . . . .        | 62        |
| 5.4      | Einführung neuer Lagerkammerkennzahlen . . . . .                   | 64        |
| 5.4.1    | Globaler Wärmeübergangskoeffizient . . . . .                       | 64        |
| 5.4.2    | Ölkühleffektivität und Nutzölstrom . . . . .                       | 65        |
| 5.4.3    | Bestimmung der erforderlichen Rechengrößen . . . . .               | 67        |
| 5.4.4    | Zusammenfassung der Berechnung der erforderlichen Rechengrößen . . | 73        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Inhalt</b>  | <b>iii</b> |
| 5.5 Auswertung der neuen Kennzahlen . . . . .                                  | 74         |
| 5.5.1 Globaler Wärmeübergangskoeffizient . . . . .                             | 74         |
| 5.5.2 Ölkühleffektivität . . . . .   | 77         |
| 5.5.3 Nutzölstrom . . . . .  | 79         |
| 5.6 Ansatz zur allgemeinen Beschreibung des Wandwärmeübergangs in Lagerkammern | 80         |
| 5.6.1 Korrelation des Nutzölstroms . . . . .                                   | 81         |
| 5.6.2 Verknüpfung von Nutzölstrom und globalem Wärmeübergang . . . . .         | 82         |
| 5.6.3 Zusammenfassung des Berechnungsansatzes . . . . .                        | 85         |
| 5.6.4 Bewertung des Berechnungsansatzes . . . . .                              | 87         |
| <b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>92</b>  |
| <b>Literatur</b>   | <b>95</b>  |
| <b>Anhang</b>  | <b>107</b> |
| A.1 Stoffwerte des verwendeten Turbinenöls . . . . .                           | 107        |
| A.2 Überblick über bisherige Lagerkammeruntersuchungen . . . . .               | 108        |