

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungen</b>	xiii
<b>Tabellen</b>	xix
<b>Symbole</b>	xxi
<b>1 Einleitung</b>	1
<b>2 Stand der Forschung</b>	5
2.1 Funktion und Varianten der Einspritzschmierung . . . . .	5
2.2 Klassifizierung der Strömungsphänomene . . . . .	9
2.2.1 Düseninnenströmung und Physik von Flüssigkeitsstrahlen . . . . .	11
2.2.2 Luftströmung um ein rotierendes Zahnrad . . . . .	16
2.2.3 Flüssigkeitsstrahl unter aerodynamischer Last . . . . .	18
2.2.4 Strahlaufprall und Filmströmung . . . . .	22
2.3 Analytische Untersuchungen zur Ölstrahl-Zahnrad-Interaktion . . . . .	23
2.3.1 Ölstrahlkühlung von Zahnrädern . . . . .	23
2.3.2 Aufpralltiefe . . . . .	29
2.4 Experimentelle Untersuchungen zur Ölstrahl-Zahnrad-Interaktion . . . . .	33
2.5 Numerische Untersuchungen zur Ölstrahl-Zahnrad-Interaktion . . . . .	36
2.5.1 Simulationsmethoden für Mehrphasenströmungen . . . . .	36
2.5.2 Ölstrahl-Interaktion mit einzelnen Zahnräden . . . . .	39
2.5.3 Ölstrahl-Interaktion mit ineinander greifenden Zahnrädern . . . . .	40
<b>3 Zielsetzung</b>	43
<b>4 Grundlagen der numerischen Methoden</b>	45
4.1 Mathematische Beschreibung von Mehrphasenströmungen . . . . .	45
4.1.1 Bilanzgleichungen . . . . .	46
4.1.2 Konstitutive Gleichungen . . . . .	46
4.1.3 Navier-Stokes-Gleichungen in Lagrange'scher Form . . . . .	47
4.2 Die Volume-of-Fluid-Methode . . . . .	48
4.2.1 Mathematisches Konzept . . . . .	48
4.2.2 Adaptive Netzverfeinerung . . . . .	51
4.2.3 Rechengebietsdeformation . . . . .	52
4.3 Die Smoothed-Particle-Hydrodynamics-Methode . . . . .	55
4.3.1 ITS-SPH-Code . . . . .	57
4.3.2 Mathematisches Konzept . . . . .	58
4.3.3 Zweiphasige Formulierung (TPSPH) . . . . .	61
4.3.4 Einphasige Formulierung (SPSPH) . . . . .	65
4.3.5 Randbedingungen . . . . .	66
<b>5 Modellbildung zur Simulation der Ölstrahl-Zahnrad-Interaktion</b>	71
5.1 Referenzkonfiguration und numerisches Modell . . . . .	71
5.1.1 Geometrie- und Betriebsparameter . . . . .	71

---

5.1.2 Rechengebiet, Modellanforderungen und Randbedingungen . . . . .	74
5.2 Vergleich zwischen der VOF- und SPH-Methode . . . . .	80
5.2.1 Zweidimensionale Modellierung . . . . .	80
5.2.2 Dreidimensionale Modellierung . . . . .	93
5.3 Zusammenfassung und Methodenauswahl . . . . .	105
<b>6 Simulation der Ölstrahl-Interaktion mit einzelnen Zahnrad</b>	<b>107</b>
6.1 Simulationsstudie . . . . .	107
6.1.1 Basiskonfiguration – Geometrie- und Betriebsparameter . . . . .	107
6.1.2 Numerisches Simulationsmodell . . . . .	108
6.1.3 Versuchsplanung . . . . .	110
6.2 Analyse der Simulationsdaten . . . . .	114
6.2.1 Bestimmung der Aufpralltiefe . . . . .	114
6.2.2 Bestimmung der Eindringtiefe . . . . .	115
6.2.3 Bestimmung der Ölfilmdynamik . . . . .	115
6.3 Einflüsse veränderter Betriebsparameter . . . . .	116
6.3.1 Vorhersage der Aufprall- und Eindringtiefe . . . . .	117
6.3.2 Vorhersage der Benetzungsfläche . . . . .	120
6.3.3 Statistische Analyse und Fazit . . . . .	124
6.4 Ableitung empirischer Berechnungsansätze . . . . .	126
<b>7 Simulation der Ölstrahl-Interaktion mit ineinandergrifenden Zahnrädern</b>	<b>129</b>
7.1 Simulationsstudie . . . . .	129
7.1.1 Geometrie- und Betriebsparameter . . . . .	129
7.1.2 Numerisches Simulationsmodell . . . . .	131
7.2 Vorhersage der Ölzführung in den beginnenden Eingriff . . . . .	133
7.3 Vorhersage der Ölzführung in den auslaufenden Eingriff . . . . .	135
7.4 Fazit . . . . .	136
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>137</b>
<b>Literatur</b>	<b>139</b>
<b>Mitbetreute studentische Arbeiten</b>	<b>155</b>
<b>Eigene Veröffentlichungen</b>	<b>157</b>
<b>Anhang</b>	<b>161</b>
A.1 Erweiterung des vektoriellen Modells zur Bestimmung der Aufpralltiefe . . . . .	162
A.2 Winkeldefinitionen des kinematischen Modells zur Bestimmung der Aufpralltiefe	163
A.3 Dynamischer Lastverteilungsalgorithmus für den ITS-SPH-Code . . . . .	164
A.4 Einfluss der Partikelgröße bei 3D-Simulationen mittels der SPSPH-Methode . .	169
A.5 Rechenaufwand für die Simulationsstudien zur ÖZI . . . . .	170
A.6 Visualisierung der Simulationen zur Ölstrahl-Interaktion mit einzelnen Zahnrad	171
A.7 Korrelation der Betriebsparameter mit den Auswertemetriken bei der Simulationsstudie zur Ölstrahl-Interaktion mit einzelnen Zahnrad . . . . .	182
<b>Lebenslauf</b>	<b>183</b>