

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	xiii
Tabellen	xix
Symbole	xxi
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	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 Zahnradern	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 einzelmem Zahnrad	39
2.5.3 Ölstrahl-Interaktion mit ineinandergreifenden Zahnradern	40
3 Zielsetzung	43
4 Grundlagen der numerischen Methoden	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
5 Modellbildung zur Simulation der Ölstrahl-Zahnrad-Interaktion	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
6	Simulation der Ölstrahl-Interaktion mit einzelmem Zahnrad	107
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
7	Simulation der Ölstrahl-Interaktion mit ineinandergreifenden Zahnrädern	129
7.1	Simulationsstudie	129
7.1.1	Geometrie- und Betriebsparameter	129
7.1.2	Numerisches Simulationsmodell	131
7.2	Vorhersage der Ölzuführung in den beginnenden Eingriff	133
7.3	Vorhersage der Ölzuführung in den auslaufenden Eingriff	135
7.4	Fazit	136
8	Zusammenfassung und Ausblick	137
	Literatur	139
	Mitbetreute studentische Arbeiten	155
	Eigene Veröffentlichungen	157
	Anhang	161
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 einzelmem Zahnrad	171
A.7	Korrelation der Betriebsparameter mit den Auswertemetriken bei der Simulati- onsstudie zur Ölstrahl-Interaktion mit einzelmem Zahnrad	182
	Lebenslauf	183