

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	iv
Tabellen	x
Symbole	xi
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	5
2.1 Phänomenologische Betrachtung von Tropfen unter aerodynamischer Last	6
2.2 Beschreibung von Tropfen unter geringer aerodynamischer Last	11
2.2.1 Tropfendeformation	11
2.2.2 Tropfenschwingung	15
2.2.2.1 Freie Formschwingungen von Tropfen	15
2.2.2.2 Analytische Beschreibung der Formschwingungen von Tropfen	17
2.2.3 Bewegungsgleichung	19
2.3 Numerische Untersuchungen aerodynamisch beaufschlagter Tropfen	21
2.3.1 Methoden zur Simulation von Mehrphasenströmungen	21
2.3.2 Numerische Studien zu aerodynamisch beaufschlagten Tropfen	23
2.4 Untersuchungen von Mehrphasenströmungen mit der SPH-Methode	28
2.5 Untersuchungen zur Zerstäubung von Emulsionen	31
3 Zielsetzung	35
4 Smoothed Particle Hydrodynamics	39
4.1 Mathematische Beschreibung von Mehrphasenströmungen	39
4.1.1 Erhaltungsgleichungen	39
4.1.2 Numerische Verfahren für Mehrphasenströmungen	40
4.2 Diskretisierung	41
4.3 Erhaltungsgleichung in SPH-Form	43
4.4 Inkompressibilität	45
4.5 Randbedingungen	46
4.5.1 Feste Begrenzungen	47

4.5.2	Durchlässige Rander	48
4.6	Mehrphasenströmung in SPH	49
4.6.1	Oberflächenspannung	50
4.6.2	Beschreibung von Dreiphasengrenzflächen	51
5	Modellentwicklung zur Beschreibung von Dreiphaseninteraktionen in SPH	55
5.1	Umsetzung des Dreiphaseninteraktions-Modells	55
5.2	Validierung des Fluid-Wand-Interaktionsmodells	57
5.3	Validierung des Drei-Fluid-Interaktionsmodells	65
6	Simulation der aerodynamischen Beaufschlagung von Tropfen	71
6.1	Rechengebiet und Randbedingungen	71
6.1.1	Simulationsablauf und Tropfeninitialisierung	73
6.1.2	Diskussion der räumlichen Auflösung	74
6.2	Simulationsübersicht	76
7	Monofluide Tropfen unter aerodynamischer Last	81
7.1	Deformationsverhalten bei unterkritischer aerodynamischer Belastung	81
7.1.1	Initiale Tropfendeformation	83
7.1.2	Formschwingung	88
7.2	Frequenz- und Dämpfungsverhalten von Tropfenschwingungen	89
7.2.1	Analytische Betrachtung eines Feder-Masse-Dämpfer-Systems	90
7.2.2	Schwingungsverhalten der monofluiden Einzeltropfen	91
7.3	Tropfenbewegung bei unterkritischer aerodynamischer Last	100
7.4	Vergleich der Vorhersage der SPH-Methode und des NLTAB3-Modells über das Verhalten monofluider Tropfen	109
7.4.1	Einfluss des aerodynamischen Wirkungskoeffizienten	110
7.4.2	Vorhersage der Querdeformation und des Schwingungsverhaltens	112
7.4.3	Vorhersage der Tropfenbewegung	121
7.5	Tropfendeformation und -aufbruch bei überkritischer aerodynamischer Belastung	124
8	Bifluide Tropfen unter aerodynamischer Last	131
8.1	Einfluss von Wasser auf das Deformationsverhalten von Kraftstofftropfen bei unterkritischer aerodynamischer Belastung	131
8.2	Beeinflussung der Tropfenbewegung durch einen im Kraftstoff platzierten Wassertropfen	142

8.3 Einfluss des Volumenanteils des Wassers und der Fluidanordnung auf das Verhalten von bifluiden Einzeltropfen	144
9 Zusammenfassung und Ausblick	151
Literatur	153
Studentische Arbeiten	171
Anhang	173
A.1 Stoffwerte und Kontaktwinkel der n-Alkane zur Validierung des dynamisches Benetzungsverhaltens	173
A.2 Fehlerabschätzung der mit SPH bestimmten statischen Kontaktwinkeln allgemeiner Drei-Fluid Interaktionen	174
A.3 Einfluss der Ohnesorge Zahl auf die Trajektorie, Geschwindigkeit und Beschleunigung monofluider Einzeltropfen	175
A.4 Frequenz- und Dämpfungsverhalten monofluider Einzeltropfen	176
A.5 Vergleich der vorhergesagten Widerstandsbeiwerte mit Korrelationen aus der Literatur	180
A.6 Vergleich der mit SPH und dem NLTAB3 Modell vorhergesagten Querausdehnung	182
A.7 Auswertung der Spannungsanteile eine mit der SPH Methode vorhergesagten Wassertropfens	183
A.8 Vergleich der Tropfentrajektorie und -geschwindigkeit vorhergesagt mit SPH und dem NLTAB3 Modell	184
A.9 Vergleich des mit SPH und dem NLTAB3 Modell vorhergesagten Tropfenwiderstands	187
A.10 Zeitliche Entwicklung der Quer- und Längsausdehnung bifluder Einzeltropfen .	189
A.11 Gegenüberstellung des Verhaltens mono- und bifluiden Einzeltropfen während der initialen Deformation	190
A.12 Tropfenbahn und -geschwindigkeit bifluiden Einzeltropfen	193