

Inhaltsverzeichnis

Symbole	v
1 Einleitung und Motivation	1
2 Wissenschaftlicher Kenntnisstand	7
2.1 Numerischen Simulation von Sprayflammen	7
2.1.1 Phänomenologie der Sprayflamme	7
2.1.2 Methodenübersicht	9
2.1.3 Der Euler-Lagrange-Ansatz	10
2.1.4 Einfluss der Tropfenstartbedingungen auf die Verbrennung	14
2.1.5 Tropfenstartbedingungen für Euler-Lagrange-Simulationen	14
2.2 Luftgestützte Zerstäubung an Filmlegern	18
2.2.1 Charakteristische Phänomene	18
2.2.2 Einflussgrößen und Kennzahlen	19
2.3 Aus Experimenten abgeleitete Korrelationen	22
2.3.1 Charakteristische Mittelwerte	22
2.3.2 Univariate Wahrscheinlichkeitsverteilungen	25
2.3.3 Multivariate Wahrscheinlichkeitsverteilungen	27
2.4 Numerische Simulation von Zerstäubungsprozessen	29
2.4.1 Methodenübersicht	29
2.4.2 Numerische Simulationen der luftgestützen Zerstäubung am Filmleger .	31
2.5 Zielsetzung und Vorgehensweise	34
3 Verwendete Methoden	37
3.1 Gesamtkonzept der Arbeit	37
3.2 Die Smoothed-Particle-Hydrodynamics-Methode	39
3.3 Bisherige Ansätze zur statistischen Modellierung und Simulation von Sprays .	42
3.3.1 Charakteristische Mittelwerte	42
3.3.2 Wahrscheinlichkeitsverteilungen	43
3.4 Methoden zur multivariaten statistischen Modellierung und Simulation	49
3.4.1 Statistisch abhängige und unabhängige Zufallsvariablen	49
3.4.2 Multivariate Modellierungsansätze	50
3.4.3 Copulas und Copula-Konstruktionen	52
4 Simulation der Zerstäubung	61
4.1 Untersuchte Betriebspunkte	61
4.2 Zerstäubergeometrie, Rechengebiet und Randbedingungen	63
4.3 Strömungsfeld der Luft	65
4.4 Charakteristische Phänomene der Zerstäubung	67
4.5 Charakteristische Größen und ihre Erfassung	70
4.6 Primärzerfall: Das Zusammenspiel von Ligamenten und Tropfen	71

5 Statistische Analyse der Spraydaten	75
5.1 Drei Betrachtungsweisen des Sprays	75
5.2 Wirkung der Betrachtungsweise auf die Tropfenstatistik	78
5.3 Einfluss der Betriebs- und Geometrieparameter auf die Tropfeneigenschaften	80
5.4 Zusammenhänge zwischen den Tropfeneigenschaften	87
5.5 Einfluss der Betriebsparameter und Geometrie	92
6 Multivariate Statistische Modellbildung und Simulation	95
6.1 Anforderungen	95
6.2 Statistischer Ansatz: Copula-Konstruktion	96
6.2.1 Copula-basierte Modellbildung: Copula-Konstruktion	96
6.2.2 Copula-basierte Modellbildung: Randverteilungen	100
6.2.3 Statistische Simulation	105
6.3 Phänomenologisch-statistischer Ansatz	106
6.3.1 Modellbildung	106
6.3.2 Statistische Simulation	113
6.4 Ergebnisse der statistischen Simulationen mit beiden Ansätzen	113
6.5 Diskussion beider Ansätze	118
7 Abhängigkeit der Modellparameter von den Betriebsbedingungen und der Geometrie	121
7.1 Vorüberlegungen	121
7.2 Die optimalen Metamodelle	122
7.3 Vergleich der simulierten Sprays	127
7.4 Einfluss der Betriebsparameter in beiden Ansätzen	129
8 Validierung des MARTINI-Modells mittels Euler-Lagrange-Simulationen	135
8.1 Das MARTINI-Modell und seine Implementierung	135
8.2 Testfall ebener Filmleger	138
8.2.1 Simulierte Betriebspunkte und verwendete Modelle	139
8.2.2 Rechengebiet, Randbedingungen und Netze	142
8.2.3 Strömungsfeld der Luft	143
8.3 Einfluss der Randverteilungen auf die räumliche Verteilung der Kraftstoffmasse	145
8.4 Einfluss der Copula-Konstruktion auf das Spray am Zerstäuber	147
8.5 Vergleich einiger Euler-Lagrange-Simulationen mit PDA-Messungen	152
8.6 Einfluss der Betriebsbedingungen des Zerstäubers	155
8.7 Zusammenfassung der Beobachtungen	155
9 Zusammenfassung und Ausblick	157
Literaturverzeichnis	159
Eigene wissenschaftliche Publikationen	175

Betreute studentische Arbeiten	177
Anhang	181
A.1 Gültigkeitsbereich der Korrelationen und Modelle zur filmlegenden luftgestützten Zerstäubung	181
A.2 Betriebsbedingungen in Triebwerksbrennkammern	183
A.3 Weitere Details zu den SPH-Simulationen	185
A.4 Abschätzung der turbulenten Skalen der SPH-Simulationen	185
A.5 Geschwindigkeitsprofile an der Zerstäuberkante in der SPH-Simulation und dem Experiment	186
A.6 Einfluss der Dimensionalität auf den Zerfall	187
A.7 Einfluss der Betrachtungsweise auf den Sauterdurchmesser	189
A.8 Einfluss der drei Betrachtungsweisen auf die Verteilungen der Tropfengröße, der Tropfenposition und der Tropfengeschwindigkeit	190
A.9 Definition ausgewählter Copula-Familien	192
A.10 Modellparameter von Copula-Konstruktion CK 3	193
A.11 Weitere Ergebnisse der statistischen Simulation mit optimalen Modellparametern	194
A.12 Netz für die Euler-Lagrange-Simulationen	195