

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Kurzfassung	III
Abstract	V
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XIX
Formelzeichen und Abkürzungen	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	2
1.2 Schadstoffausstoß im realen Straßenverkehr	3
1.3 Motivation und Zielsetzung	4
2 Ottomotorische Grundlagen	7
2.1 Benzindirekteinspritzung	8
2.2 Charakterisierung des Brennverfahrens	10
2.3 Schadstoffemissionen am DI-Ottomotor	11
2.4 Partikelemissionen	12
2.4.1 Entstehungsprozess der Partikelemissionen	13
2.4.2 Charakterisierung von motorischen Partikelemissionen . . .	18
2.4.3 Motorische Einflussparameter	22
2.4.4 Partikelemissionsrelevante Freiheitsgrade im Serienmotor .	32
3 Modellierung motorischer Partikelemissionen	35
3.1 Datengetriebene Modellansätze	36
3.2 Empirische Modellansätze	37
3.3 Phänomenologische Modellansätze	39
3.4 Detaillierte Modellansätze	42
3.5 Stand der Simulation ottomotorischer Partikelemissionen	43
	IX

4 Experimentelle und simulative Untersuchungsmethodik	47
4.1 Versuchsumgebung	47
4.1.1 Beschreibung des Versuchsaggregats	47
4.1.2 Prüfstandsumgebung und Messtechnik	49
4.1.3 Partikelmesstechnik	50
4.1.4 Druckverlaufsanalyse	56
4.1.5 Optische Untersuchungen des Spraybildes	57
4.1.6 Beschreibung des Versuchsraums	58
4.2 Partikelmodelle für den seriennahen DI-Ottomotor	62
4.2.1 Datengetriebene Partikelmodellvariante	63
4.2.2 Empirische Partikelmodellvariante	69
4.2.3 Semiempirische Partikelmodellvariante	75
4.3 Modellierung der Partikelgrößenverteilung	86
4.4 Modellkalibrierung und Optimierungsalgorithmen	88
4.5 Bewertung der Modellgenauigkeit	89
5 Modellierung im stationären Motorbetrieb	91
5.1 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen	91
5.1.1 Last- und Drehzahleinflüsse auf die Partikelemissionen	93
5.1.2 Parametervariationen	96
5.2 Parametrisierung der Partikelmodellvarianten	105
5.2.1 Lokale Modellkalibrierung	105
5.2.2 Parametrierung des empirischen Partikelmodells	106
5.2.3 Parametrierung des semiempirischen Partikelmodells	113
5.3 Qualität der Modellbildung	119
5.3.1 Modellqualität im Partikelspektrum	121
5.3.2 Modellvalidierung im Parameterraum	124
5.4 Bewertung der Partikelmodellvarianten	137
5.5 Partikelgrößenabhängige Parameteränderung der Modellkonstanten	141
5.6 Anwendbarkeit und Aussagekraft der Partikelmodelle	143
6 Modellübertrag für den transienten Motorbetrieb	147
6.1 Substitution von Modelleingängen durch Neuronale Netze	148
6.2 Modellgenauigkeit in ausgewählten Zyklen	151
6.3 Entwicklungspotenziale im transienten Motorbetrieb	157

7 Zusammenfassung	159
Literaturverzeichnis	165
Anhang	185
A.1 Tabellen	185
A.2 Grundlegendes	196
A.3 Versuchsergebnisse	206