

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
Inhaltsverzeichnis .....	VII
Formelzeichen und Abkürzungen .....	X
Formelzeichen .....	X
Indizes .....	XI
Abkürzungen .....	XII
1 Einführung .....	1
1.1 Abgasgesetzgebungen .....	1
1.2 Gesundheitsgefährdung durch Partikelemissionen.....	2
2 Partikelemissionen und ihre Messung: Grundlagen .....	3
2.1 Partikelemissionen .....	3
2.1.1 Partikel- und Rußemissionen: Physikalische und chemische Grundlagen der Formation und Oxidation .....	4
2.1.2 Partikelemissionen im Motorbetrieb .....	12
2.2 Partikelmesstechnik .....	13
2.2.1 Gesetzgebung UN-ECE Regulation No. 83 .....	13
2.2.2 Kondensationspartikelzähler (PMP-konform).....	14
2.2.3 Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer (EEPS) .....	15
2.2.4 Micro Soot Sensor .....	17
2.2.5 Optische Messtechnik .....	18
2.3 Partikelrelevante Themen ottomotorischer Gemischbildungs- und Verbrennungsverfahren.....	25
2.3.1 Betriebsstrategien und Brennverfahren beim Ottomotor.....	25
2.3.2 Grundlagen der Gemischbildung .....	28
2.3.3 Konzepte zur Kraftstoffaufbereitung .....	33
2.3.4 Injektorablagerungen: Ursache, Wirkung und Vermeidung.....	35
3 Technologische Ansätze zur Reduzierung der Partikelemissionen direkteinspritzender Ottomotoren .....	37

4	Zielsetzung der Arbeit.....	38
5	Verbrennungsentwicklung zur Reduzierung der Partikelemissionen direkteinspritzender Ottomotoren .....	39
5.1	Partikelemissionen beim direkteinspritzenden Ottomotor: Herkunft und Ursachen .....	39
5.2	Partikelrelevanter Versuchs- und Bewertungsraum .....	43
5.2.1	Katalysatorheizbetrieb .....	43
5.3	Methoden zur innermotorischen Reduzierung der Partikelemissionen bei wechselwirkenden Einflussparametern .....	45
5.3.1	Quasi-dimensionales Entwicklungstool basierend auf phänomenologischen Ansätzen (PAG Spray and Impact Tool) .....	46
5.4	Motorische Einflussgrößen auf (stationäre) Partikelemissionen .....	53
5.4.1	Grundmotorgeometrie .....	53
5.4.2	Verdichtungsverhältnis .....	56
5.4.3	Brennverfahren / Injektorlage .....	59
5.4.4	Injektorauslegung (zentrale Lage) und Phänomene der innermotorischen Partikelentstehung.....	66
5.4.5	Ladungsbewegung durch Ventiltriebsvariabilitäten .....	77
5.5	Übertrag der Erkenntnisse auf den dynamischen Fahrbetrieb .....	79
5.5.1	Optimierter Einsatz verfügbarer Messtechnik.....	79
5.5.2	Gesamtansatz zur Reduzierung der Partikelemissionen im dynamischen Fahrbetrieb .....	80
5.6	Ansätze zur Stabilisierung der Partikelemissionen über Laufzeit (Phänomenologie des Partikelanzahl- und -massendriffs durch Injektorablagerungen) .....	90
5.6.1	Klassifizierung und Auswirkung unterschiedlicher Injektorablagerungen am Mehrlochventil .....	90
5.6.2	Entstehung der Injektorablagerungen und des Partikeldriffs am Mehrlochventil.....	91
5.6.3	Injektorablagerungen u. Partikeldrift bei der A-Düse .....	92
5.6.4	Einflussgrößen auf die Injektorablagerungen am Beispiel des Mehrlochventils .....	93
5.6.5	Untersuchungen des Injektor Tip Wetting .....	94
5.6.6	Einfluss des Injektorthermomanagements auf die Ablagerungsbildung und den Partikeldrift.....	103

5.6.7	Einfluss der Injektorfertigungsverfahren (Oberflächengüte) auf die Ablagerungsbildung und den Partikeldrift .....	110
5.6.8	Bewertung unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen und Technologiestufen am Mehrlochventil hinsichtlich Ablagerungsbildung und Partikeldrift .....	112
5.6.9	Kraftstoffeinfluss auf die Ablagerungsbildung und den Partikeldrift in Abhängigkeit des Tip Wetting und Injektorthermomanagements .....	115
5.6.10	Einfluss der Einspritzstrategie auf die Ablagerungsbildung, das Tip Sooting und den Partikeldrift .....	117
5.6.11	Einfluss unterschiedlicher Injektorlagen und Ladungsbewegungskonzepte auf das Strömungsfeld vor der Injektorspitze (3D CFD-Simulation) .....	120
6	Zusammenfassung .....	122
7	Anhang .....	126
7.1	Versuchsträger .....	126
7.2	Versuchseinrichtungen, Messtechnik und Tools .....	127
7.2.1	Motorische Untersuchungen .....	127
7.2.2	Sprayuntersuchungen am Einspritzprüfstand .....	128
7.2.3	Mikroskopaufnahmen der Injektorspitze .....	129
7.2.4	CT- und REM-Aufnahmen der Injektorspitze .....	130
7.2.5	PAG Spray and Impact Tool .....	130
7.2.6	Simulation des Temperaturfeldes an der Injektorspitze .....	130
7.2.7	Simulation des Strömungsfeldes vor der Injektorspitze .....	132
7.2.8	Ladungswchselrechnung und Druckverlaufsanalyse .....	132
7.3	Abgasgesetzgebungen .....	132
7.4	PAG Spray and Impact Tool .....	133
7.4.1	3D CFD Simulation in emissionsrelevanten Betriebspunkten .....	133
7.4.2	Kalibrierung und Validierung der phänomenologischen Modelle im PAG Spray and Impact Tool .....	134
7.4.3	Simulation der Einlassventilbenetzung .....	138
7.5	Applikationsstrategien .....	138
7.6	Einflussgrößen auf die Injektorablagerungen am Bsp. des MLV .....	139
7.7	Injektorthermomanagement .....	143
7.8	Kraftstoffsiedeverhalten .....	144
	Literaturverzeichnis .....	145