

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 Partikeldrifts 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	Ladungswechselrechnung 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