

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Herausgebers	I
Vorwort des Autors	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Nomenklatur	IX
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik bei modernen Dieselmotoren im Betrieb mit alternativen Kraftstoffen	3
2.1 Ausgangsmaterialien von alternativen Kraftstoffen	3
2.2 Die dieselmotorische Wirkkette	4
2.3 Dieselmotorische Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung	6
2.3.1 Innermotorische Einspritzung, Zerstäubung und Gemischbildung	6
2.3.1.1 Common-Rail-Einspritzsystem	6
2.3.1.2 Strahlzerfall, Spray- und Gemischbildung	6
2.3.2 Innermotorische Zündung, Verbrennung und Schadstoffbildung	9
2.3.2.1 Zündverzug	9
2.3.2.2 Ablauf der dieselmotorischen Verbrennung	10
2.3.2.3 Schadstoffe	12
2.4 Maßnahmen zur Minderung der Emissionen von modernen Dieselmotoren	15
2.4.1 Innermotorische Maßnahmen	16
2.4.2 Nachmotorische Maßnahmen	17
2.4.3 Alternative Kraftstoffe	18
3 Zielsetzung, wissenschaftliche Fragestellungen und Gliederung der Arbeit. 20	20
3.1 Zielsetzung und wissenschaftliche Fragestellungen	20
3.2 Gliederung der Arbeit	22
4 Eigenschaften der verwendeten Dieseldieselkraftstoffe	24
4.1 Übersicht über die untersuchten Kraftstoffe	24
4.2 Bestimmung der Dichte, dynamischen Viskosität und Oberflächenspannung in Abhängigkeit von der Temperatur mit dem IMETER	24
4.2.1 Aufbau und Versuchsdurchführung am IMETER	25
4.2.2 Ergebnisse und Diskussion	25
4.3 Weitere physikalische und chemische Eigenschaften der verwendeten Dieseldieselkraftstoffe	27
5 Optische und analytische Messmethoden	31

5.1	Thermodynamische und optische Messmethoden zur Analyse der innermotorischen Gemischbildung und Verbrennung	31
5.1.1	Druckverlaufsanalyse	31
5.1.2	Einspritz- und Gemischbildungsanalyse mittels Laser-induzierter Exciplex-Fluoreszenz	35
5.1.2.1	Allgemeine Grundlagen der Laser-induzierten Fluoreszenz	36
5.1.2.2	Prinzip der laser-induzierten Exciplex-Fluoreszenz	42
5.1.2.3	Anforderungen an ein ideales Kraftstoff-Markermolekül-System	44
5.1.2.4	Auswahl der Kraftstoffe und der Markermoleküle	45
5.1.2.5	Einsatz der Markermoleküle-Systeme mit Realkraftstoffen	47
5.1.2.6	Bewertung der eingesetzten Kraftstoff-Markermoleküle-Systeme.....	51
5.1.3	Optische Verbrennungsanalyse mittels Hochgeschwindigkeits-Kinematographie	52
5.1.3.1	Verbrennungsleuchten von Flammen	52
5.1.3.2	Chemilumineszenz des Hydroxyl-Radikals und thermische Rußstrahlung	53
5.2	Analysemethoden zur Bestimmung der physikochemischen Eigenschaften von ausgestoßenen Dieselpartikeln	54
5.2.1	Scanning Mobility Particle Sizer zur Erfassung der Größenklassenverteilung von ausgestoßenen Partikeln	54
5.2.2	Gravimetrische Bestimmung der emittierten Partikelmasse	56
5.2.3	Energiedispersive Röntgenspektroskopie zur Analyse der chemischen Zusammensetzung von Partikelproben	57
5.2.4	Thermogravimetrische Analyse zur Bestimmung des Rußabbrandverhaltens	57
6	Prüfstände, Dieselaggregate und Messaufbauten	60
6.1	Optisch zugänglicher Einzylinder-Forschungsmotor.....	61
6.1.1	Prüfstandsperipherie und optisch zugänglicher Forschungsmotor	61
6.1.2	Versuchsaufbauten für die thermodynamischen und optischen Messmethoden... 64	
6.1.2.1	Druckverlaufsanalyse	64
6.1.2.2	Laser-induzierte Exciplex-Fluoreszenz.....	64
6.1.2.3	Hochgeschwindigkeits-Kinematographie	66
6.1.2.4	Scanning Mobility Particle Sizer	67
6.1.3	Betriebspunkte, Kraftstoffe und Versuchsdurchführung	67
6.2	Diesel-Serienmotor	70
6.2.1	Prüfstandsperipherie und Diesel-Serienmotor	70
6.2.2	Präparierter Abgasstrang mit Sensoren, Probenkonditionierung und Probenentnahme	72
6.2.3	Betriebspunkte, Kraftstoffe und Versuchsdurchführung	74
7	Methodisches Vorgehen bei der Kalibrierung und Auswertung der Messungen	77
7.1	Druckverlaufsanalyse	77
7.2	Laser-induzierte Exciplex-Fluoreszenz.....	78
7.3	Hochgeschwindigkeits-Kinematographie	81
7.4	Scanning Mobility Particle Sizer	82

7.5	Kraftstoffverbrauch und Stickstoffoxidausstoß.....	83
7.6	Filterwägung.....	84
7.7	Energiedispersive Röntgenspektroskopie.....	84
7.8	Thermogravimetrische Analyse	85
8	Analyse der motorischen Prozesskette am optisch zugänglichen Einzylinder-Forschungsmotor.....	86
8.1	Thermodynamische Analyse der Verbrennung mittels indizierter Druckverläufe	86
8.1.1	Berechnete Brennverläufe der alternativen Dieselmotoren	86
8.1.2	Berechneter Zündverzug und Hauptverbrennungsschwerpunkt der alternativen Dieselmotoren	92
8.2	Innermotorische optische Gemischbildungsanalyse mittels LIEF	94
8.2.1	Einspritz- und Gemischbildungsverlauf mit fossilem Diesel.....	94
8.2.2	Einspritz- und Gemischbildungsverlauf mit Rapsölmethylester.....	97
8.2.3	Einspritz- und Gemischbildungsverlauf mit Hydriertem Pflanzenöl	100
8.2.4	Einspritz- und Gemischbildungsverlauf mit Fischer-Tropsch-Diesel.....	103
8.2.5	Einspritz- und Gemischbildungsverlauf mit Dibutylether	105
8.3	Innermotorische optische Verbrennungsanalyse mittels Hochgeschwindigkeits-Kinematographie	106
8.3.1	Örtliche Verteilung der OH*- und der Rußstrahlung	107
8.3.2	Räumlich aufsummierte Verläufe der OH*- und der Rußstrahlung.....	118
8.3.3	Zeitlich und räumlich aufsummierte OH*- und Rußstrahlungsintensitäten.....	123
8.4	Elektrischer Mobilitätsdurchmesser und Anzahl emittierter Partikel mit dem SMPS	124
8.4.1	Hintergrundmessungen.....	124
8.4.2	Größenklassenverteilungen im Betrieb mit den alternativen Kraftstoffen.....	125
9	Analyse der physikochemischen Partikeleigenschaften und des Rußabbrands am Serienmotor	128
9.1	Kraftstoffverbrauch und Stickstoffoxidausstoß.....	128
9.2	Anzahl und Größe emittierter Partikel	129
9.2.1	Hintergrundmessung und Reproduzierbarkeit.....	129
9.2.2	Effektive spezifische Gesamtpartikel-Anzahl und Geometrisch Mittlerer Partikeldurchmesser	130
9.3	Ausgestoßene Partikelmasse und Beladungsdauer.....	132
9.4	Chemische Zusammensetzung der emittierten Partikelproben	133
9.5	Abbrandverhalten der unterschiedlichen Ruße	136
9.5.1	Verläufe der Massenverlustraten bei der Thermogravimetrischen Analyse während der Inertgas- und der Oxidations-Phase	136
9.5.2	Charakteristische Oxidationstemperatur	138
10	Verknüpfung und Diskussion der Ergebnisse aus den Untersuchungen	141
10.1	Einfluss des Kraftstoffs auf die innermotorischen Teilprozesse und auf die Größenklassenverteilung des ausgestoßenen Rußes	141
10.1.1	Einfluss des Einspritz- und Ladeluftdrucks.....	141

10.1.2	Einfluss des Kraftstoffs unter verschiedenen Einspritz- und Ladeluftdrücken...	142
10.2	Einfluss des Kraftstoffs auf die physikochemischen Eigenschaften der ausgestoßenen Partikel und auf das Rußabbrandverhalten	146
10.2.1	Einfluss des Einspritz- und Ladeluftdrucks	146
10.2.2	Einfluss des Kraftstoffs unter verschiedenen Einspritz- und Ladeluftdrücken...	148
11	Zusammenfassung und Ausblick.....	152
12	Summary and outlook	157
13	Literaturverzeichnis.....	162
	Vorveröffentlichungen	187
A	Anhang	A
A.1	Einspritz- und Gemischbildungsverläufe bei hohem und niedrigem Ladeluftdruck	A