

<b>Deutsche Kurzfassung</b>	<b>v</b>
<b>Englische Kurzfassung / Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Formelzeichenverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Struktur des Dieselmotors und Maßnahmen zur Emissionsminderung . . . .	2
1.2 Verhalten und Regelung des Dieselmotors im transienten Motorbetrieb . . .	3
1.2.1 Luftsystem und Luftsystemregelung . . . . .	4
1.2.2 Einspritzsystem und Einspritzsystemregelung . . . . .	6
1.3 Regelungstechnische Optimierung des transienten Motorbetriebs . . . . .	8
1.4 Stand der Technik der Verbrennungsoptimierung im transienten Motorbetrieb	9
1.5 Ziele und Struktur der Arbeit . . . . .	14
<b>2 Regelungsorientierte Modellierung von Ruß, Stickoxiden und Mitteldruck</b>	<b>17</b>
2.1 Definition der Modellierungsaufgabe . . . . .	17
2.1.1 Strukturelle Kopplung der Motorteilsysteme . . . . .	18
2.1.2 Konkretisierung und Abgrenzung der Modellierungsaufgabe . . . . .	20
2.2 Konventionelle physikalische Modellierung des Brennraums . . . . .	21
2.2.1 Konzentriert-parametrisches Brennraummodell . . . . .	22
2.2.2 Berechnung der zyklusdiskreten Motorausgangsgrößen . . . . .	25
2.2.3 Systemtheoretische Zusammenfassung des Brennraummodells . . . . .	26
2.3 Physikalisch-/datenbasierte Modellierung des Brennraums . . . . .	27
2.3.1 Separierung des Verbrennungszyklus in einzelne Phasen . . . . .	28
2.3.2 Abstrakte mathematische Beschreibung der Verbrennungszyklusphasen	29
2.3.3 Diskussion des konventionellen Brennraummodells im Kontext der Ver- brennungszyklusphasen . . . . .	31
2.3.4 Datenbasierte Approximation der Verbrennungsphase . . . . .	35
2.3.5 Systemtheoretische Zusammenfassung des physikalisch-/datenbasier- ten Brennraummodells . . . . .	37
2.4 Parametrierung des physikalisch-/datenbasierten Brennraummodells . . . .	38
2.4.1 Parametrierung der physikalisch modellierten Gaswechsel- und Kom- pressionsphase . . . . .	38
2.4.2 Parametrierung der Verbrennungsphasenapproximation . . . . .	39
2.5 Evaluierung des physikalisch-/datenbasierten Brennraummodells . . . . .	42
2.5.1 Gaswechsel- und Kompressionsphase im stationären Motorbetrieb . .	43

2.5.2	Approximation der Verbrennungsphase im stationären Motorbetrieb .	44
2.5.3	Gesamtbrennraummodell im transienten Motorbetrieb . . . . .	45
<b>3</b>	<b>Motorgesamtmodell aus Brennraum, Luftsystem und Motorsteuerung</b>	<b>47</b>
3.1	Strukturierung des Motorgesamtmodells . . . . .	47
3.2	Modellierung des Luftsystems . . . . .	48
3.2.1	Kopplung des Luftsystemmodells mit dem hybriden Brennraummodell	49
3.2.2	Evaluierung des freigeschnittenen Luftsystemmodells . . . . .	50
3.3	Modellierung des Einspritzsystems . . . . .	52
3.4	Modellierung der Motorsteuerung . . . . .	54
3.4.1	Einspritzsystemregelung . . . . .	54
3.4.2	Luftsystemregelung . . . . .	55
3.5	Modellierung der Brennräume . . . . .	56
3.5.1	Parametrierung des Brennraummodells für den Einsatz in der Motor- gesamtsimulation . . . . .	56
3.5.2	Evaluierung der datenbasierten Komponenten des Brennraummodells	57
3.6	Evaluierung des Motorgesamtmodells . . . . .	59
3.6.1	Stationärer Motorbetrieb . . . . .	59
3.6.2	Transienter Motorbetrieb . . . . .	61
<b>4</b>	<b>Verbrennungsoptimierung mittels der Kraftstoffeinspritzung</b>	<b>65</b>
4.1	Adaption der Einspritzparameter im transienten Motorbetrieb . . . . .	65
4.1.1	Erweiterung der Einspritzsystemregelung zur Verbrennungsoptimie- rung im transienten Motorbetrieb . . . . .	66
4.1.2	Optimierungsbasierte Bestimmung von Korrekturwerten für die Ein- spritzparameter . . . . .	68
4.1.3	Strukturierung der Gütefunktion . . . . .	70
4.1.4	Schätzung eines dynamischen Soll-Mitteldrucks . . . . .	71
4.2	Ansätze zur Steigerung der Recheneffizienz der Einspritzparameterkorrektur	72
4.2.1	Datenbasierte Approximation der physikalischen Modelle der Kom- pressionsphase . . . . .	73
4.2.2	Transformation der Datenmodelleingangsgrößen . . . . .	74
4.2.3	Auslagerung der Mitteldruck-Gleichungsnebenbedingung in die Daten- modelle der Optimierung . . . . .	76
4.2.4	Offline-Vorausberechnung der Einspritzparameterkorrekturen . . . . .	79
4.3	Parametrierung des Optimierungsproblems . . . . .	80
4.3.1	Schwellwerte für die Minimierung der Emissionen . . . . .	81
4.3.2	Skalierungsfaktoren innerhalb der Gütefunktion . . . . .	82
4.3.3	Ober- und Untergrenzen der Optimierungsvariablen . . . . .	82
4.4	Generierung und Evaluierung der Datenmodelle der Einspritzparameterkor- rektur . . . . .	82
4.4.1	Datenmodelle für die optimierungsbasierten Ansätze . . . . .	83
4.4.2	Datenmodelle für die Approximation der Online-Optimierung . . . . .	86

<b>5</b>	<b>Simulationsstudien zur Verbrennungsoptimierung im transienten Motorbetrieb</b>	<b>91</b>
5.1	Verbrennungsoptimierung einzelner Betriebspunkte eines Beschleunigungsvorgangs . . . . .	91
5.1.1	Diskussion des transienten Betriebspunkts P1 . . . . .	92
5.1.2	Diskussion des transienten Betriebspunkts P2 . . . . .	95
5.2	Verbrennungsoptimierung während eines Beschleunigungsvorgangs . . . . .	97
5.2.1	Diskussion des Effekts unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren . . . . .	98
5.2.2	Analyse des Effekts der Optimierungsfreiheitsgrade . . . . .	103
5.2.3	Untersuchung des Einflusses einer Limitierung der Optimierungsschritte sowie des Warmstarts der Optimierung . . . . .	105
5.2.4	Analyse der Ansätze zur Steigerung der Recheneffizienz der Einspritzparameterkorrektur . . . . .	109
5.2.5	Vergleich der Einspritzparameterkorrektur bei Verwendung des dynamischen sowie stationären Soll-Mitteldrucks . . . . .	112
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>117</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Herleitung der Differentialgleichung des Zylinderdrucks</b>	<b>121</b>
<b>Anhang B</b>	<b>Thermodynamische Gaseigenschaften</b>	<b>125</b>
B.1	Berechnung der spezifischen Gaskonstante und spezifischen Wärmekapazität	125
B.1.1	Gaskonstante und Wärmekapazität von Stoffgemischen . . . . .	125
B.1.2	Sauerstoff und gasförmiger Kraftstoff . . . . .	126
B.1.3	Pseudogaskomponente aus nicht zu Sauerstoff gehörenden Elementen	126
B.2	Herleitung des stöchiometrischen Faktors für Sauerstoff . . . . .	128
<b>Anhang C</b>	<b>Prüfstandsversuche zur Erzeugung der Parametrierungs- und Evaluierungsdaten</b>	<b>129</b>
C.1	Aufbau des Motorprüfstands . . . . .	129
C.2	Charakterisierung der verwendeten Messdatensätze . . . . .	131
C.3	Erzeugung der stationären Messdatensätze . . . . .	133
C.4	Erzeugung eines Fahrprofils mit einem Beschleunigungsvorgang . . . . .	134
C.5	Erzeugung der Datensätze für die Generierung der Datenmodelle . . . . .	135
C.5.1	Zusammenstellung der Anforderungen an die Parametervariation . . . . .	136
C.5.2	Auslegung der Parametervariation . . . . .	137
C.5.3	Strukturierung des Versuchsplans . . . . .	142
C.5.4	Prüfstandsautomatisierung . . . . .	144
<b>Anhang D</b>	<b>Übersicht der eingesetzten Datenmodelle</b>	<b>145</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>147</b>