

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	XII
Tabellenverzeichnis	XXIII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Kenntnisstand	3
2.1 Downsizing	3
2.2 Thermodynamische Verlustteilung	7
2.3 Verdichtungsverhältnis	17
2.4 Abgasrückführung	20
2.5 Magerbetrieb	22
2.6 Spätes und frühes Einlassschließen	24
3 Verwendete Versuchsträger, Messtechnik und Auswertealgorithmen	27
3.1 Hochaufladener Extrem-Downsizing-Ottomotor	28
3.2 Demonstratorfahrzeug	31
3.3 Vorgehen bei den experimentellen Untersuchungen	31
3.3.1 Am Einzylindermotor vermessener Kennfeldbereich	32
3.3.2 Verwendeter Kraftstoff	33
3.3.3 Einstellung des Gegendrucks am Einzylindermotor	33
3.3.4 Definition der Klopfgrenze	36
3.3.5 Definition der Stabilitätsgrenze der Verbrennung	36
3.4 Beschreibung der verwendeten Auswerte- und Simulationsroutinen	37
3.4.1 Thermodynamische Analyse	38
3.4.2 Motorsimulation	39
3.4.3 Zyklussimulation	40
4 Identifikation von Wirkungsgradpotenzialen mittels Zyklussimulation	42
4.1 Vergleich der verwendeten Fahrzyklen	42
4.2 Vergleich von Zyklussimulation und Messergebnissen	46
4.3 Vergleich von NEFZ und anderen Fahrzyklen	48
4.4 Auswirkung der Optimierung des Leerlaufbetriebs im NEFZ	51
4.5 Vergleich des Extrem-Downsizing-Motors mit einem Saugmotor im NEFZ	52
4.6 Vergleich von Einzylinder- und Vollmotornessung im NEFZ	53

5 Maßnahmen zur Entdrosselung im saugmotorischen Betrieb	56
5.1 Abgasrückführung	56
5.1.1 Interne Abgasrückführung	56
5.1.2 Externe Abgasrückführung	58
5.1.3 Vergleich von interner und externer Abgasrückführung	61
5.1.4 Verbrennungsstabilisierung durch Doppel Einspritzung	63
5.2 Homogener Magerbetrieb	67
5.2.1 Einfluss auf die motorischen Kenngrößen	67
5.2.2 Verbrennungsstabilisierung durch Doppel Einspritzung	71
5.3 Vergleich von Abmagerung und Abgasrückführung bei Teillast	74
5.4 Spätes Einlassschließen	76
5.4.1 Einfluss auf den Ladungswechsel bei niedriger Last	76
5.4.2 Einfluss auf die motorischen Kenngrößen bei niedriger Last	78
5.5 Verbrauchspotenziale der entdrosselnden Maßnahmen im NEFZ	80
5.5.1 Potenzial der Ladungsverdünnung durch externe Abgasrückführung	80
5.5.2 Potenzial der Ladungsverdünnung durch Abmagerung	81
5.5.3 Potenzial des späten Einlassschließens	83
6 Optimierung des Verdichtungsverhältnisses	85
6.1 Einfluss des Verdichtungsverhältnisses auf die motorischen Kenngrößen	86
6.1.1 Einfluss auf Schwerpunktlage und Wirkungsgrad	86
6.1.2 Einfluss auf Kenngrößen der Verbrennung	88
6.1.3 Einfluss auf das Klopfverhalten	89
6.1.4 Verbrauchspotenziale in NEFZ und WLTC	90
6.1.5 Einfluss der Verdichtung auf den Zündspannungsbedarf	91
6.2 Reduzierung der Klopfneigung durch spätes Einlassschließen	94
6.2.1 Einfluss auf Schwerpunktlage und Wirkungsgrad	94
6.2.2 Untersuchung des Spülverhalteus mittels schneller Flammen-Ionisations-Detektion	97
6.2.3 Analyse der thermodynamischen Verluste	104
6.2.4 Einfluss der Einlassventilsteuzeit auf Klopfverhalten und Wirkungsgrad	105
6.2.5 Einfluss auf Kenngrößen der Verbrennung	108
6.2.6 Einfluss auf das Klopfverhalten	109
6.3 Reduzierung der Klopfneigung durch Abgasrückführung	110
6.3.1 Einfluss auf Schwerpunktlage und Wirkungsgrad	111
6.3.2 Einfluss auf Kenngrößen der Verbrennung	113
6.3.3 Einfluss auf das Klopfverhalten	115
6.3.4 Einfluss von erhöhtem internen Restgasgehalt und Temperatur	116
6.3.5 Vergleich von Abgasrückführung und spätem Einlassschließen	118
6.4 Homogener Magerbetrieb bei hoher Last	123
6.4.1 Einfluss auf Schwerpunktlage und Wirkungsgrad	123
6.4.2 Einfluss auf Kenngrößen der Verbrennung	123
6.4.3 Einfluss auf das Klopfverhalten	124
6.4.4 Vergleich von Abmagerung und Abgasrückführung bei hoher Last	125

6.5 Umsetzung am Vollmotor	127
6.5.1 Auslegung des Brennverfahrens in Kombination mit minimaler Hybridisierung	127
6.5.2 Verhalten der motorischen Kenngrößen am Vollmotor	128
6.5.3 Reduzierung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe durch Doppel Einspritzung	131
6.5.4 Verbrauchspotenziale in NEFZ und WLTC am Vollmotor	136
6.5.5 Einfluss auf die Vorentflammungseigung	138
7 Reduzierung des Anfettungsbedarfs bei hohen Lasten	139
7.1 Einsatz von gekühlter externer Abgasrückführung	140
7.2 Erhöhung der zulässigen Turbineneintrittstemperatur	145
7.3 Vergleich beider Maßnahmen und Fazit	148
8 Zusammenfassung und Ausblick	149
Literaturverzeichnis	154
Anhang	165
A Grundlagen und Kenntnisstand	165
B Zyklussimulation	166
C Maßnahmen zur Entdrosselung im saugmotorischen Betrieb	169
D Optimierung des Verdichtungsverhältnisses	173