

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 Auswertalgorithmen | 27 |
| 3.1 Hochaufgeladener 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 Vollmotormessung 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 Doppeleinspritzung | 63 |
| 5.2 Homogener Magerbetrieb | 67 |
| 5.2.1 Einfluss auf die motorischen Kenngrößen | 67 |
| 5.2.2 Verbrennungsstabilisierung durch Doppeleinspritzung | 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 Spülverhaltens mittels schneller Flammen-Ionisations-Detektion | 97 |
| 6.2.3 Analyse der thermodynamischen Verluste | 104 |
| 6.2.4 Einfluss der Einlassventilsteuerzeit 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 Brennuverfahrens in Kombination mit minimaler Hybridisierung | 127 |
| 6.5.2 | Verhalten der motorischen Kenngrößen am Vollmotor | 128 |
| 6.5.3 | Reduzierung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe durch Doppeleinspritzung | 131 |
| 6.5.4 | Verbrauchspotenziale in NEFZ und WLTC am Vollmotor | 136 |
| 6.5.5 | Einfluss auf die Vorentflammungsneigung | 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 |