

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	2
Summary .....	3
Zusammenfassung .....	6
Inhaltsverzeichnis .....	10
Nomenklatur .....	13
Lateinische Symbole .....	13
Griechische Symbole .....	16
Indizes .....	17
Abkürzungen .....	18
1. Einleitung und Motivation .....	19
2. Grundlagen der Wirkungsgradoptimierung beim Ottomotor .....	24
2.1 Methode der Verlustteilung .....	24
2.2 Einteilung und Systematik .....	27
2.3 Wirkungsgradsteigerung spezifischer Kennfeldpunkte .....	28
2.3.1 Entdrosselung durch Restgas .....	28
2.3.2 Entdrosselung durch variablen Ventiltrieb .....	29
2.3.3 Entdrosselung über Schicht-/Magerbetrieb .....	31
2.3.4 Erhöhung der Ladungstemperatur .....	32
2.3.5 Homogene ottomotorische Selbstzündung .....	32
2.3.6 Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses .....	32
2.3.7 Verbesserung des Verbrennungsablaufs .....	33
2.3.8 Reduktion der Reibung .....	34
2.4 Wirkungsgradsteigerung durch Lastpunktverschiebung .....	34
2.4.1 Downsizing .....	35
2.4.2 Downspeeding .....	36
2.4.3 Wechselwirkungen: „Downsizing“ – „Downspeeding“ .....	37
2.5 Ottomotorische Verbrauchskonzepte in der Vollast .....	38
2.5.1 Erhöhung der Verbrennungsgeschwindigkeit .....	39
2.5.2 Reduzierung des Anfettungsbedarfs .....	39
2.5.3 Optimierung des Verdichtungsverhältnisses .....	40
2.5.4 Nutzung einer positiven Ladungswechselschleife durch das Aufladesystem .....	41

---

2.6	Zusammenfassung ottomotorischer Verbrauchskonzepte und Bewertung .....	41
3.	Grundlagen der Simulation des Ottomotors .....	43
3.1	Längsdynamikmodell des Fahrzeugs .....	44
3.2	Strömungsmodell des Verbrennungsmotors .....	45
3.3	Modellierung des transienten Motormoments.....	47
3.4	Modellierung der Verbrennung.....	50
3.4.1	Verbrennungsmodell für die homogene ottomotorische Verbrennung.....	52
3.4.2	Verbrennungsmodell für die geschichtete ottomotorische Verbrennung.....	63
3.4.3	Simulation von Klopferscheinungen beim homogenen Ottomotor.....	74
3.5	Simulation der Motorreibung .....	89
3.6	Grenzen der Simulation.....	90
3.6.1	Strömungsmodell .....	90
3.6.2	Turboladermodellierung.....	91
3.6.3	Verbrennungsmodell .....	92
3.6.4	Wandwärmemodell im Brennraum .....	94
3.6.5	Randbedingungen der Simulation .....	94
3.6.6	Auswirkungen der Simulationsgrenzen auf diese Arbeit.....	95
4.	Analyse und Darstellung der verwendeten Fahrzyklen.....	97
4.1	Grundlagen .....	97
4.2	Der neue europäische Fahrzyklus (NEFZ).....	98
4.3	CADC URBAN (ARTEMIS).....	99
4.4	CADC ROAD (ARTEMIS) .....	101
4.5	CADC MOTORWAY (ARTEMIS).....	102
4.6	US06.....	104
4.7	FKFS .....	105
4.8	Zusammenfassung Fahrzyklen .....	107
5.	Stationäre Simulationen .....	110
5.1	Stationäre Simulationen des Referenzmotors .....	110
5.1.1	Entdrosselung durch externe AGR.....	114
5.1.2	Kombinierter Mager- und Schichtbetrieb .....	117
5.1.3	Optimierung des Hub zu Bohrungsverhältnisses .....	120
5.1.4	Optimierung des Verdichtungsverhältnisses .....	132
5.1.5	Stöchiometrisches Motorkonzept ohne Beschleunigungsanfertung mit erhöhter Abgasgrenztemperatur .....	139
5.2	Stationäre Simulationen eines virtuellen, einfach aufgeladenen BDE-Downsizing- Ottomotors mit 1.6l Hubvolumen .....	140
5.2.1	Simulative Optimierung der Steuerzeiten in der Teillast .....	142

5.2.2	Simulative Optimierung des Aufladesystems und der Steuerzeiten in der Volllast .....	143
5.2.3	Stationärer Vergleich mit festen Steuerzeiten .....	156
5.2.4	Applikation eines kombinierten Mager-/Schichtbetriebs.....	158
5.3	Stationäre Simulationen eines virtuellen zweifach aufgeladenen 3-Zylinder BDE-Downsizing-Ottomotors mit 1.2l Hubvolumen.....	161
5.3.1	Vergleich mit Einfachaufladung .....	168
5.3.2	Stationärer Vergleich mit festen Steuerzeiten .....	172
5.3.3	Applikation eines kombinierten Mager-/Schichtbetriebs.....	175
5.4	Quervergleich der Motorkonzepte .....	176
5.5	Verbrauchshochrechnungen der simulierten Motorkonzepte im NEFZ und in Realfahrzyklen .....	181
5.5.1	NEFZ.....	183
5.5.2	US06.....	187
5.5.3	ARTEMIS Urban .....	188
5.5.4	ARTEMIS Road .....	189
5.5.5	ARTEMIS Motorway.....	189
5.5.6	FKFS .....	190
5.5.7	Zyklusübergreifender Vergleich .....	191
5.5.8	Einfluss der Beschleunigungsanfertung und Abgasgrenztemperatur.....	193
6.	Transiente Simulationen.....	195
6.1	Grundlagen.....	195
6.2	Transienter Vergleich zwischen Saugmotor und Turbomotor .....	196
6.3	Einfluss von variablen Steuerzeiten auf einen Beschleunigungsvorgang mit Luftspülung („Scavenging“) .....	208
6.4	Transiente Simulation der Nachoxidation.....	212
6.4.1	Transienter Lastsprung mit Nachoxidation bei konstanter Motordrehzahl.....	212
6.4.2	Transienter Lastsprung mit Nachoxidation während einer Fahrzeugbeschleunigung.....	214
6.4.3	Zusammenfassung: Transiente Simulation der Nachoxidation.....	221
6.5	Vergleich der transienten Beschleunigungsfähigkeit aller betrachteten Motorkonzepte .....	222
6.6	Vergleich des virtuellen 1.2l Downsizingkonzepts mit Einfach- und Zweifachaufladung.....	231
6.7	Transiente Simulation des NEFZ mit Verbrennung und Gasdynamik .....	234
6.8	Transiente Simulation des US06 mit Verbrennung und Gasdynamik .....	241
7.	Ausblick .....	247
	Literatur .....	248