

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Schadstoffbildung und Abgasnachbehandlung bei Pkw-Dieselmotoren	2
1.1.1. Kraftstoffverbrauch und Kohlenstoffdioxid-Emission	3
1.1.2. Innermotorische Stickoxidbildung und -minderung	4
1.1.3. Außermotorische Stickoxidminderung	6
1.1.3.1. Stickoxidminderung mit Hilfe von Speicherkatalysatoren	6
1.1.3.2. Stickoxidminderung nach dem SCR-Verfahren	7
1.1.4. Temperatur-Management	9
1.2. Motivation und Ziel der Arbeit	9
1.3. Abgrenzung vom Bekannten	11
1.4. Versuchsträger	12
1.5. Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	13
2. Optimale Steuerung	15
2.1. Beschreibung der vorliegenden Optimierungsprobleme	15
2.2. Methoden und Algorithmen der Optimalsteuerung	16
2.2.1. Indirekte Verfahren - Pontryagin's Minimum Prinzip	18
2.2.2. Dynamic Programming	26
2.2.3. Rollout Algorithmen	33
2.2.4. Direkte Verfahren	35
2.2.4.1. Direkte Schießverfahren	37
2.2.4.2. Direkte Kollokation	38
2.3. Selektion und Vergleich der Optimierungsverfahren - Lotka-Volterra-Problem	39
3. Optimierung der Emissionscharakteristik dieselmotorischer Fahrzeuge	45
3.1. Modellprädiktive Emissionsregelung	45
3.2. Funktionsimplementierung	46
3.2.1. Struktur der Funktion	46
3.2.2. Prädiktion des Systemzustandes	49
3.2.3. Echtzeit-Optimierung	50
3.2.3.1. Ansatz 1: Iteratives Boundary Line Dynamic Programming	52
3.2.3.2. Ansatz 2: Boundary Line Dynamic Programming mit Rollout Algorithmus	55
3.2.4. Modellbildung und -identifikation	57
3.2.4.1. Dieselmotor und Turbolader	58
3.2.4.2. Katalysatortemperatur	59
3.2.4.3. Katalysatoreffizienz	60
3.3. Modellbasierte Applikation der NO _x -Rohemissionssteuerung	61
4. Systematische Motorvermessung zur Ableitung datenbasierter Verbrennungsmodelle	67
4.1. Versuchsvorbereitung und initiale Definition des Versuchsraums	67
4.2. Online-DoE with Constraint Modeling (ODCM)	68

5. Gesamtsystemsimulation - Luftpfad, Verbrennung und Abgasnachbehandlung	71
5.1. Modellbildung und -identifikation	72
5.1.1. Modellierung des Dieselmotors	73
5.1.1.1. Datenbasierte Modellierung - Eine Einführung	73
5.1.1.2. Stationäre, datenbasierte Verbrennungsmodellierung mittels Gauß-Prozess Regression	75
5.1.1.3. Modellierung der Luftsystemdynamik	77
5.1.1.4. Bewertung der quasi-stationären Motormodellierung	80
5.1.2. Temperaturmodell des Turboladers	81
5.1.3. Katalysatortemperaturen und HC-Oxidation	83
5.1.4. Reaktionskinetisches SCR-Modell	85
5.1.5. Bewertung der Modellkette	86
5.2. Funktionsvalidierung durch Simulation	87
5.2.1. Funktionsbewertung mit Hilfe von Fahrzyklen	87
5.2.2. Funktionsbewertung mit Hilfe realer Straßenfahrten	89
5.2.3. Toleranzuntersuchungen	92
5.2.3.1. Robustheit der Emissionsergebnisse gegenüber Sensorfehlern	93
5.2.3.2. Robustheit der Emissionsergebnisse gegenüber fehlerbehafteter Modellprädiktion	94
6. Funktionsvalidierung am Motorprüfstand	97
6.1. Zusammenfassung der Messergebnisse	98
6.2. Detailbetrachtung ausgewählter Fahrprofile	100
6.2.1. WLTC	100
6.2.2. Challenge Cycle	102
7. Zusammenfassung und Ausblick	105
7.1. Zusammenfassung	105
7.2. Ausblick	106
A. Schematischer Aufbau am Motorprüfstand	107
B. Dynamische Fahrprofile	109
C. Gesamtsystemsimulation am Beispiel ausgewählter dynamischer Fahrprofile	111
D. Studie: Optimiertes Temperatur-Management für Dieselmotoren - »Abgastemperatur vs. Abgasenthalpie«	115
E. In a Nutshell - Optimale Steuerung	119
E.1. Indirekte Verfahren	119
E.2. Dynamic Programming	120
E.3. Rollout Algorithmen	121
E.4. Direkte Verfahren	121
Abbildungsverzeichnis	123
Tabellenverzeichnis	125
Literaturverzeichnis	127
Curriculum Vitae	135