

Virtuelle Abgassensoren für Dieselmotoren

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

von Dipl.-Ing. Roman Messing

geb. am 7. Oktober 1982 in Münster

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau

der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Helmut Tschöke

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Rolf Isermann

Promotionskolloquium am 16.01.2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	On-Board-fähige Emissionssensoren	3
3	Grundlagen	9
3.1	Dieselmotorische Prozesse	9
3.1.1	Ladungswechsel	9
3.1.2	Einspritzung und Gemischbildung	10
3.1.3	Verbrennung	12
3.2	Schadstoffbildung der dieselmotorischen Verbrennung	18
3.2.1	Stickoxide	19
3.2.2	Partikel	23
3.2.3	Unverbrannte Kohlenwasserstoffe	29
3.2.4	Kohlenstoffmonoxid	34
3.2.5	Kohlenstoffdioxid	36
3.2.6	Das Emissionsverhalten im Kaltstart	37
3.3	Motormanagement	37
3.3.1	Kraftstoff- und Luftpfad	38
3.3.2	Moderne Motormanagementkonzepte	41
3.4	On-Board-Diagnose	42
3.5	Identifikation nichtlinearer Systeme	43
3.5.1	Verschiedene Ansätze für statische Modelle	45
3.5.2	Der Ansatz mit lokal linearen Teilmodellen	47
4	Versuchsaufbau und -durchführung	51
4.1	Der Versuchsmotor	51
4.2	MPEC/FI ^{2RE}	52
4.3	Messtechnik	53
4.4	Messprogramm	57

5	Modellbildungsablauf	59
5.1	Auswahl geeigneter Eingangsgrößen	59
5.1.1	Anforderungen	59
5.1.2	Auswahl	60
5.2	Erstellung des Datensatzes zur Identifikation	62
5.3	Modelladaption	64
5.4	Ablauf der Validierung am Prüfstand	64
6	Modellstruktur	67
6.1	Berechnung wichtiger Eingangsgrößen	67
6.2	Die Emissionsmodelle	70
7	Validierung der Modelle	75
7.1	Modellergebnisse	76
7.1.1	NO _x -Modelle	76
7.1.2	Ruß-Modelle	81
7.1.3	CO-Modelle	85
7.1.4	HC-Modelle	90
7.1.5	CO ₂ -Modelle	94
7.1.6	CO ₂ -Bilanzierung	97
7.2	Modellierung der AGR-Rate	99
7.3	Modellierung von Blowby-Massenstrom und -Konzentrationen	101
7.4	Emissionsverhalten im Warmlauf	107
8	Fehlerbetrachtung	115
8.1	Fehlerfortpflanzung am Beispiel des virtuellen NO _x -Sensors	115
8.2	Einfluss der Modellstruktur auf die Modellqualität	118
8.3	HC-Rückstände	120
9	Zusammenfassung und Ausblick	123
10	Bibliografie	129
11	Abkürzungen und Formelzeichen	143

A Anhang	147
A.1 Berechnungen	147
A.2 Sensoren-Kennfelder	150
A.3 Anwendung des virtuellen NO _x -Sensors zur Regelung	155
A.4 Daten zur Messtechnik	158
A.5 Messprinzipien der Abgasanalyse	161