

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	vii
Tabellen	xi
1 Einleitung und Übersicht	1
2 Drei-Wege-Katalysatoren	7
2.1 Schadstoffe in Autoabgasen	8
2.2 Aufbau und Funktionsweise von Drei-Wege-Katalysatoren	14
2.3 Cer und dessen Sauerstoffspeicherfähigkeit	20
2.4 Deaktivierung von Drei-Wege-Katalysatoren	23
2.5 Zusammenfassung	26
3 Diagnoseverfahren für Drei-Wege-Katalysatoren	27
3.1 Klassifikation existierender Diagnoseverfahren	27
3.1.1 Signalbasierte Verfahren	28
3.1.2 Modellbasierte Verfahren	28
3.1.3 Wissensbasierte Verfahren	29
3.2 Eigenschaften existierender Diagnoseverfahren für Katalysatoren	29
3.2.1 Katalysatordiagnose mittels Lambda-Sensoren	30
3.2.2 Katalysatordiagnose mittels HC-Sensoren	35
3.2.3 Katalysatordiagnose mittels Temperatur-Sensoren	36
3.3 Neuer modellbasierter On-Board-Diagnoseansatz	37
3.4 Zusammenfassung	40
4 Physikalische Modellierung von Drei-Wege-Katalysatoren	41
4.1 Physikalisch-chemisches Katalysatormodell	42
4.1.1 Massenbilanzen	43
4.1.2 Energiebilanzen	44
4.1.3 Reaktionskinetik	45
4.2 Berücksichtigung der Alterung	56
4.3 Ermittlung der Rohemissionen aus Standard-Fahrzeugsensoren	62
4.3.1 Kennfelder	62
4.3.2 Neuronale Netze	63
4.3.3 Regressionsansätze	65
4.3.4 Physikalisches Modell für die Rohemissionen	69
4.4 Zusammenfassung	75

5 Modellreduktion zur On-Board-Diagnose	77
5.1 Reduktion der Modellgleichungen	78
5.2 Spektrale Verfahren zur Ordnungsreduktion	80
5.2.1 Proper Orthogonal Decomposition	81
5.2.2 Tschebyscheff-Differentiation	87
5.3 Modell für die Katalysator On-Board-Diagnose	93
5.4 Zusammenfassung	96
6 Identifikation von Parametern des Katalysatormodells	99
6.1 Optimierungsverfahren zur Identifikation	101
6.1.1 Gradientenverfahren	101
6.1.2 Genetische Algorithmen	103
6.1.3 Partikelschwarm-Optimierung	103
6.2 Ermittlung der Modellparameter	105
6.2.1 Verwendung von Herstellerdaten	105
6.2.2 Parameteridentifikation	112
6.3 Messdaten zur Identifikation	115
6.4 Ergebnisse der Modellidentifikation	119
6.5 Zusammenfassung	124
7 Modellbasierte Katalysatordiagnose	127
7.1 Verwendung eines „Grenzkatalysators“	128
7.2 Zustandsschätzung mittels Moving Horizon Estimation	129
7.2.1 Anfangsgewichtsbestimmung	131
7.2.2 Mehrzielverfahren	134
7.2.3 Verallgemeinertes Gauß-Newton-Verfahren	135
7.3 Zustandsschätzung mittels eines Sigma-Punkt-Kalman-Filters	136
7.3.1 Lineares Kalman-Filter	137
7.3.2 Erweitertes Kalman-Filter	142
7.3.3 Sigma-Punkt-Kalman-Filter	143
7.3.4 Erweiterung des Sigma-Punkt-Kalman-Filters	149
7.4 Ergebnisse und Diskussion der neuen Diagnoseverfahren	152
7.4.1 „Grenzkatalysator“	152
7.4.2 Moving Horizon Estimation	156
7.4.3 Constrained Sigma-Punkt-Kalman-Filter	158
7.5 Zusammenfassung	164
8 Zusammenfassung	165

A Notation	169
B Herleitungen	175
B.1 Massenbilanzen für den Kanalhohlraum	175
B.2 Massenbilanzen für den Festkörper	177
B.3 Energiebilanz für den Kanalhohlraum	178
B.4 Energiebilanz für den Festkörper	180
B.5 Alterungsterm für den Katalysator	182
B.6 Berechnung des Abgas-Massenstroms	183
B.7 Berechnung der stöchiometrischen Koeffizienten	185
B.8 Stöchiometrisches Luft/Kraftstoff-Verhältnis	187
B.9 Herleitung der Proper Orthogonal Decomposition	189
B.10 Herleitung der erweiterten Proper Orthogonal Decomposition	191
B.11 Herleitung des Umrechnungsfaktors ($-2/\ell$)	193
B.12 QR-Zerlegung	194
B.13 Cholesky-Zerlegung	196
C Modellparameter	197
Literatur	203