Bayreuther Beiträge zur Sensorik und Messtechnik

Band 9

Sebastian Reiß

**Direkte Zustandssensorik
von Automobilabgaskatalysatoren**

Shaker Verlag
Aachen 2012

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bayreuth, Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0841-8

ISSN 1862-9466

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation behandelt neuartige Verfahren zur Zustandserkennung von Automobilabgaskatalysatoren. Dabei stand nicht die Analyse der Zusammensetzung des Abgases im Vordergrund, sondern der aktuelle chemische Zustand des katalytisch aktiven Materials. Die Zusammenhänge zwischen Katalysatorzustand und den Messinformationen wurden beispielhaft aber sehr ausführlich an Drei-Wege-Katalysatoren gezeigt und es wurde ein Ausblick auf die Anwendung für weitere Katalysatorsysteme gegeben. Die Messmethoden basierten dabei auf der Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften des Katalysatormaterials. Ziel war die einfachere und genauere, teilweise sogar orts aufgelöste in-situ Detektion der Sauerstoffbeladung des Katalysators im Vergleich zu der etablierten Methode durch den Vergleich der Signale zweier Lambda-Sonden vor und nach Katalysator. Eine genauere Kenntnis der Sauerstoffbeladung könnte eine Erhöhung des chemischen Umsatzes oder auch eine Reduzierung des Katalysatorvolumens ermöglichen.

Die Arbeit gliedert sich in drei Schwerpunkte. In einem ersten Teil wurden die elektrischen Eigenschaften der verwendeten Materialien charakterisiert, in einem zweiten Teil wurde die hochfrequenzgestützte Katalysatorzustandsdiagnose für die Überwachung von Drei-Wege-Katalysatoren verwendet und schließlich die Ergebnisse aus beiden Teilen zusammengeführt und zusätzlich mit klassischer Gasanalytik verglichen.

Außerdem wurde kurz gezeigt, wie die elektrischen Eigenschaften in Rechenmodelle für Speicherkatalysatoren eingebunden und somit auch Messsignale der hier vorgestellten Systeme vorausberechnet werden können.

Des Weiteren wurde die hochfrequenzgestützte Katalysatoridiagnose auf Katalysatoren für die Entstickung mageren Abgases angewandt. Es konnte gezeigt werden, dass im Fall von NO_x -Speicherkatalysatoren die Beladung des Katalysators mit Stickoxiden und für SCR-Katalysatoren der Ammoniak-Speicherzustand detektiert werden kann.

Die grundlegende Charakterisierung der Materialien des Drei-Wege-Katalysators wurde anhand von Sensorelementen mit Interdigitalelektroden durchgeführt, auf die die katalytisch aktive Beschichtung des Katalysators aufgebracht wurde. Durch eine entsprechende Gasbeaufschlagung konnte die Veränderung der elektrischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Gaszusammensetzung untersucht werden. Es wurde jeweils die elektrische Impedanz analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass die Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit durch den Oxidationszustand des als Sauerstoffspeicherkomponente eingesetzten Ceroxids dominiert werden. Als grundlegende Information ist daraus eine Kenn-

linie der Leitfähigkeit in Abhängigkeit des Sauerstoffpartialdrucks im Gas entstanden.

Es konnte auch durch die Messdaten an diesen Sensoren gezeigt werden, dass die thermische Alterung sowie die Vergiftung des Katalysators durch SO_2 Auswirkung auf die Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysatormaterials haben, welche auch im Sensorsignal widergespiegelt werden.

Für die Überwachung eines gesamten Katalysators wurden neun dieser Sensoren entlang der Strömungsrichtung in einen Katalysator integriert und der Sauerstoffspeicherhaushalt während Änderungen der Gaszusammensetzung (der Luftzahl λ) lokal aufgelöst bestimmt. Mit diesem Aufbau wurden unterschiedliche Tests sowohl an einer Synthesegasanlage im Labor als auch am Motorprüfstand mit realem Abgas durchgeführt. Aus den Signalverläufen der einzelnen Sensoren konnte auch auf den gemittelten Sauerstoff-Beladungsgrad des gesamten Katalysators geschlossen werden.

Die neu eingeführte hochfrequenzbasierte Katalysatordiagnose basiert auf der Beeinflussung stehender elektromagnetischer Wellen innerhalb des Katalysatorgehäuses. Dabei werden über eine Antenne Mikrowellen in das metallische Gehäuse eingekoppelt und deren Eigenschaften durch den Katalysator beeinflusst. Je nach Änderung der Leitfähigkeit des katalytisch aktiven Materials wird die elektromagnetische Welle unterschiedlich gestört und die Auswertung der Streuparameter lässt einen Rückschluss auf den Sauerstoff-Beladungsgrad zu.

Zu diesem Verfahren der Katalysatordiagnose wurden sowohl an der Synthesegasanlage als auch am Motorprüfstand Versuche durchgeführt. Es konnte bestätigt werden, dass das Messsignal mit der Sauerstoffbeladung zusammenhängt und kaum Querempfindlichkeiten auf sonstige Anteile im Gas aufweist. Auch die Eignung für den Einsatz im realen Abgas konnte bestätigt werden.

Als wichtigster Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit hat sich die Temperatur herausgestellt. Daher ist es unumgänglich, die Temperatur zusätzlich zu kennen. Ein erster Ansatz für die Temperaturkompensation des Messsignals der hochfrequenzgestützten Katalysatordiagnose wurde vorgestellt.

Zusammenführend wurden die Messungen der Sensoren und der hochfrequenzgestützten Diagnose verglichen und gezeigt, dass die neuartige Katalysatordiagnose die elektrische Leitfähigkeit des Katalysators und damit den Grad der Sauerstoffbeladung widerspiegelt.

Da während der Versuche am Motorprüfstand eine Gasanalyse jeweils vor und nach Katalysator durchgeführt wurde, konnte aufgrund dieser Daten eine Sauerstoffbilanz erstellt und somit der Sauerstoffbeladungsgrad des Katalysators berechnet werden. Mit Hilfe dieser Information konnten Kennlinien sowohl für die Sensordaten als auch für die hochfrequenzgestützte Katalysatordiagnose erstellt werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Methoden zur Messung der Beladung eines

Speicherkatalysatoren mit einer bestimmten Gaskomponente werden als geeignet angesehen, die Sauerstoffbeladung von Drei-Wege-Katalysatoren, die Stickoxidbeladung von NO_x -Speicherkatalysatoren oder auch die NH_3 -Beladung von SCR-Katalysatoren direkt und ohne die Analyse der Gasphase zu bestimmen. Ein wesentlicher Vorteil ergibt sich daraus, dass zu jedem Betriebszeitpunkt der aktuelle Beladungsgrad gemessen werden kann und keine Betrachtung des zeitlichen Verlaufs von Gassensorsignalen vor und nach Katalysator erforderlich ist. Damit wäre auch eine genauere Regelung des Betriebspunktes für maximale Konversion im Katalysator möglich.