

# Impedanz-basierter NO<sub>x</sub>-Sensor für Abgasanwendungen

*Gunter Hagen<sup>1</sup>, Andreas Müller<sup>1</sup>, Dirk Bleicker<sup>2</sup>, Frank Noack<sup>3</sup>, Julia Lattus<sup>1</sup>, Jaroslaw Kita<sup>1</sup>, Ralf Moos<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Bayreuth Engine Research Center (BERC), Lehrstuhl für Funktionsmaterialien, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth, Germany

<sup>2</sup>CARIT Automotive GmbH&Co. KG, Gildenstr. 18, D-48157 Münster, Germany

<sup>3</sup>CPK Automotive GmbH & Co. KG, Gildenstr. 4c, D-48157 Münster, Germany

## Zusammenfassung

Die Messung der Stickoxid-Konzentration in automobilen Abgasen erfordert robuste aber auch kostengünstige Lösungen. Als Alternative zu kommerziellen amperometrischen Sensoren auf Zirkon-Oxid-Basis wird vorgeschlagen, die Impedanz eines Funktionsmaterials zu messen. Die einfach herzustellenden planaren Sensoren zeigen bei einer Betriebstemperatur von 650 °C eine schnelle und ausreichend hohe Reaktion auf NO. Allerdings ist die NO-Empfindlichkeit von der Grundgas-Atmosphäre abhängig. Im Labor wurden deshalb mehrere Kennlinien bei variablem Lambda-Wert unter gleichzeitiger Anpassung des Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Feuchte-Gehalts aufgenommen. Legt man dieses Kennfeld (NO<sub>x</sub>-Konzentration als Funktion der Sensorantwort unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Lambda-Wertes) bei Messungen im realen Diesel-Abgas zu Grunde, so ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit Messwerten eines kommerziellen Sensors.

**Keywords:** Impedanz, NO<sub>x</sub>-Sensor, Diesel-Abgas, Lambda

## Motivation

Abgastaugliche NO<sub>x</sub>-Sensoren zur Überwachung und / oder Regelung von Dieselmotoren sind notwendig, um einen effizienten Betrieb des jeweiligen Abgasnachbehandlungssystems zu gewährleisten und die Gefahren für Mensch und Umwelt durch zu hohe Stickoxid-Emissionen zu verhindern. Kommerzielle, amperometrische NO<sub>x</sub>-Sensoren auf ZrO<sub>2</sub>-Basis sind aufwändig in der Herstellung und es müssen sehr kleine Messsignale verarbeitet werden. Im vorliegenden Beitrag wird alternativ ein Impedanz-basierter NO<sub>x</sub>-Sensor vorgestellt, der diese Nachteile überwinden kann.

## Experimentelles

Grundlage dieses neuartigen Sensors ist die Änderung der elektrischen Impedanz einer Funktionsschicht unter NO<sub>x</sub>-Beaufschlagung. Das gassensitive Funktionsmaterial besteht dabei aus KMnO<sub>4</sub> auf einem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Träger (imprägniert und kalziniert) und liegt als siebgedruckte Dickschicht auf einer interdigitalen Elektrodenstruktur vor [1]. Das Sensorelement ist auf einem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Substrat aufgebaut und beinhaltet auf der Rückseite eine Dickschicht-Heizerstruktur in Vierleiter-Technik, mit deren Hilfe die gewünschte Betriebstemperatur (hier ca. 650 °C) erreicht

und gehalten wird. Ein abgastaugliches Gehäuse mit entsprechender Schutzkappe erlaubt den Einbau in Labor- oder Abgasanlagen. Messwerte werden bei 100 kHz als Betrag  $|Z|$  und Phase  $\varphi$  der Impedanz aufgenommen und dann in einen Widerstandswert  $R$  unter Annahme eines R||C-Ersatzschaltbildes umgerechnet.

## Ergebnisse im synthetischen Laborabgas

Zunächst wurden Kennlinien des Sensors im Labor in Abhängigkeit der NO-Konzentration (Variation von 0 bis 1500 ppm) und von Lambda aufgenommen (Abbildung 1). Das Grundgas bestand dabei jeweils aus O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O in N<sub>2</sub> und wurde für die Lambda-Einstellung entsprechend angepasst. Die Empfindlichkeit des Sensors (dargestellt in Werten der relativen Änderung des gemessenen Widerstandswertes  $R$  mit NO bezüglich des Grundwiderstands  $R_0$  im Grundgas ohne NO-Zudosierung) sinkt mit sinkender Sauerstoffkonzentration im Abgas.

Dieses Sensorverhalten (verschiedene Kennlinien in Abhängigkeit von Lambda) wurde in den späteren Realabgasmessungen zur Berechnung der NO<sub>x</sub>-Konzentration aus dem Messsignal herangezogen. Lambda-Werte wurden jeweils mit einer handelsüblichen Breitband-O<sub>2</sub>-Sonde (LSU) und entsprechender Elektronik (ETAS) bestimmt.

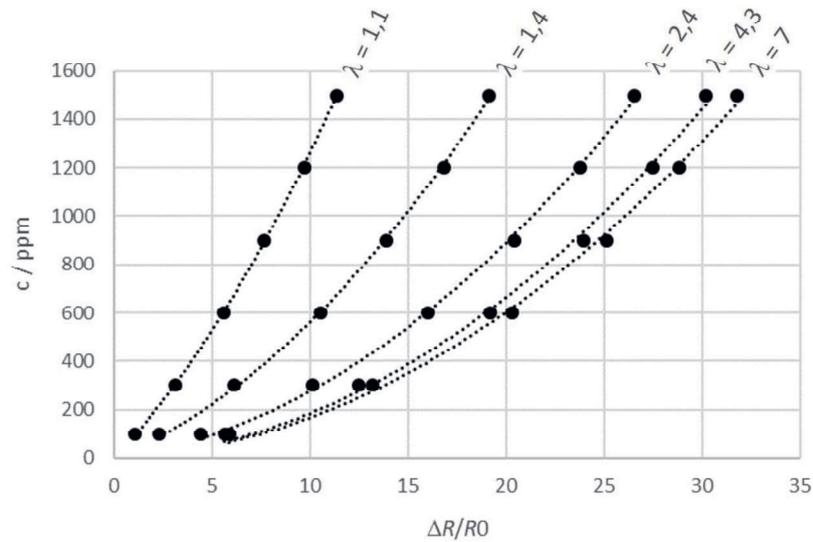


Abb. 1: Kennlinien des Impedanz-basierten  $\text{NO}_x$ -Sensors in Abhängigkeit von Lambda, gemessen in synthetischem Abgas (Labor-Anlage). Das Grundgas wurde in den Werten für  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  entsprechend angepasst, um verschiedene Lambda-Werte (Messwerte eines kommerziellen  $\text{O}_2$ -Sensors) einzustellen. Aufgetragen ist die relative Änderung des gemessenen Widerstands.

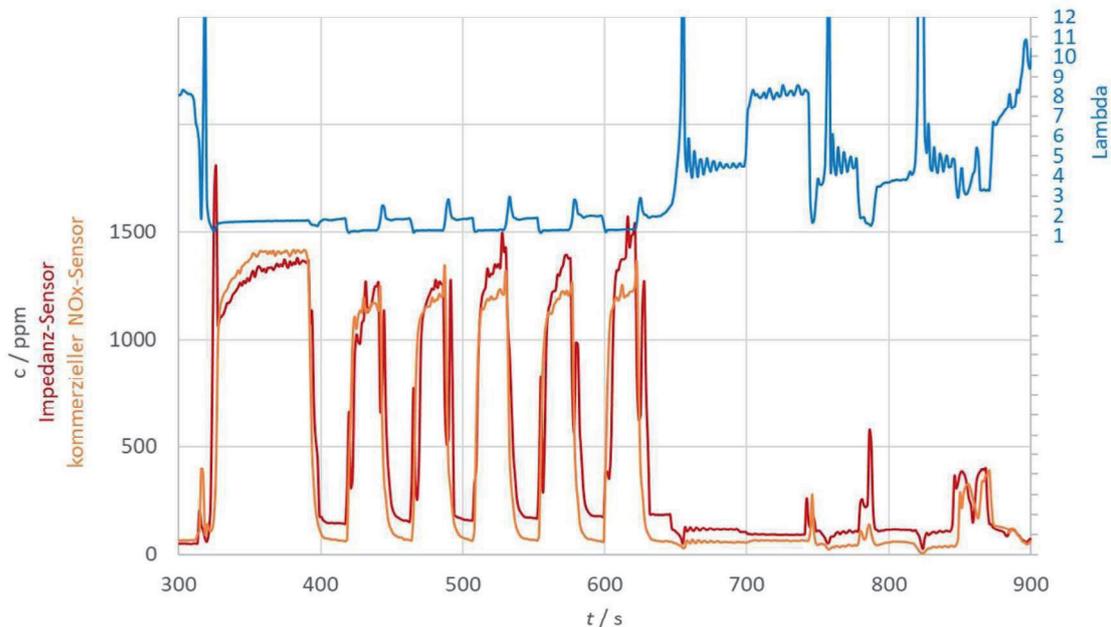


Abb. 2: Realabgas-Messung im Hauptstrom eines Diesel-Vierzylinders bei verschiedenen Betriebsbedingungen / Abgasatmosphären: Zeitlicher Verlauf der Signale des Impedanz-Sensors (zu einer Konzentration umgerechnete Widerstandsänderung) und kommerzieller  $\text{NO}_x$ -Sensor im Vergleich.

## Ergebnisse im realen Abgas

Um die Tauglichkeit des Sensorelements im realen Einsatzfall nachzuweisen, wurden Messungen im Dieselaabgas eines 2,1 l – Vierzylindermotors (Hauptstrom) im direkten Vergleich mit einem kommerziellen NO<sub>x</sub>-Sensor durchgeführt (Abbildung 2). Verschiedene Abgasbedingungen wurden dabei durch Änderungen im Motorbetrieb bzgl. Drehzahl und Last herbeigeführt. Die zeitlichen Verläufe beider Sensorsignale zeigen schnelle Reaktionen und eine stabile Grundlinie. Die gemessenen Konzentrationen stimmen im Wesentlichen gut überein. Leichte Abweichungen ergeben sich bei der zeitlichen Anpassung der Datensätze und damit auch bei der Berechnung der Konzentration aus dem Impedanz-Signal unter Berücksichtigung von Lambda.

## Zusammenfassung

Insgesamt ist das Ergebnis aber als sehr vielversprechend zu beurteilen und eröffnet damit Möglichkeiten zur weiteren Entwicklung kostengünstiger und abgastauglicher Hochtemperatur-NO<sub>x</sub>-Sensoren.

## Literaturnachweis

- [1] A. Groß, M. Kremling, I. Marr, D. Kubinski, J. Visser, H. Tuller, R. Moos, Dosimeter-Type NO<sub>x</sub> Sensing Properties of KMnO<sub>4</sub> and Its Electrical Conductivity during Temperature Programmed Desorption, *Sensors* 13(4), 4428-4449 (2013); doi: 10.3390/s130404428.