▼ AUTOMOBILSENSORIK

Resistive Rußsensoren bald im Einsatz in Partikelfiltersystemen

Moderne sparsame Dieselmotoren in Kraftfahrzeugen sind heute überwiegend mit Dieselpartikelfiltern ausgestattet. Die Abgasgesetzgebung für Straßenfahrzeuge schreibt vor, dass jedes abgasrelevante Bauteil regelmäßig auf Funktion zu überprüfen ist. Die geschieht im Rahmen der On-Board-Diagnosis (OBD).

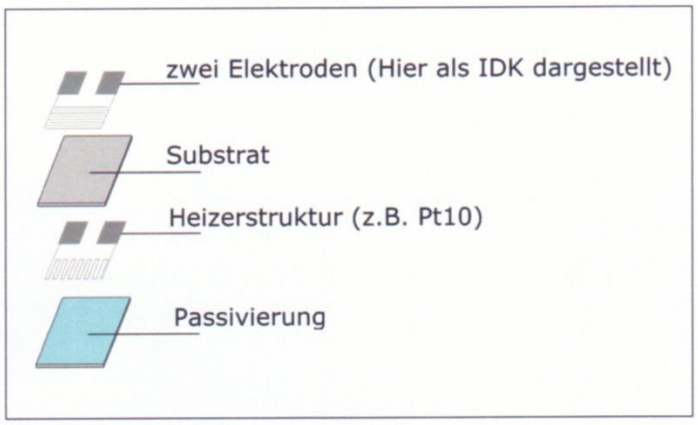
Sensoren und Prüfalgorithmen übernehmen diese Funktion zusammen mit dem Motorsteuergerät autonom. Partikelfilter werden bezüglich Abscheidegrad und Regeneration durch Drucksensoren überwacht. Nun hat sich gezeigt, dass die Messung des Abgasgegendrucks alleine nicht ausreicht, um alle Fehlstellen eines Partikelfilters zu entdecken.

Insbesondere die aus mehreren Segmenten zusammengesetzten Siliziumkarbidfilter neigen dazu an den Klebeflächen auseinanderzubrechen. Aber auch das Versagen einzelner Kanäle von Cordieritfiltern kann mit der Druckmessung nicht einwandfrei entdeckt werden. Aus diesen Gründen suchen die Automobilhersteller seit geraumer Zeit nach preisgünstigen, leicht implementierbaren Rußsensoren. Nun zeichnet sich eine Einführung resistiver Partikelsensoren ab, die diese Forderungen erfüllen könnten. Hersteller wie Sensor-Nite, Electricfil, Bosch, Conti und Heraeus scheinen diesem Prinzip den Vorzug zu geben und arbeiten an entsprechenden Entwicklungen.

Zusammensetzung und Aufbau von Rußpartikeln

An einen Kern (Nucleus) aus Kohlenstoff lagern sich je nach Verbrennungsverfahren mehr oder weniger HC-Ketten an. Je höher der Einspritzdruck (bei modernen Systemen bis 2200 bar) desto kleiner sind die HC-Fragmente, die sich anlagern können. Bei alten Vorkammerdieselmotoren sind sowohl die Anzahl der angelagerten HC-Moleküle erheblich höher als auch deren Länge. Zusätzlich können sich an diesen Partikeln mechanischer Abrieb aus dem Verbrennungsraum als auch Rückstände von Motoröl anlagern. Aufgrund der Kompaktheit der Partikel aus Hochdrucksystemen tritt kaum noch eine sichtbare Trübung des Rohabgases auf. Dennoch sind diese Teilchen als kanzerogen einzustufen, da ihre kurzen HC-Reste einmal eingeatmet die Alveolen durchstoßen und damit direkt in den menschlichen Blutkreislauf gelangen. Im Gegensatz hierzu sind Rußpartikel aus Niederdrucksystemen wesentlich voluminöser, trüben das Abgas sichtbar und sind meist nicht lungengängig.

Treffen solche Partikel aufeinander, verhaken sie sich leicht und ballen sich zu größeren Rußflocken zusammen, sie bilden Agglomerate. Diese binden noch Restfeuchtigkeit an sich und werden somit noch schwerer. Die Herausforderung an einen Rußsensor besteht nun darin, sowohl große Agglomerate als auch kleinste Partikel zu detektieren.



▲ **Aufbau eines resistiven Rußsensors**

▲ **Gekapselter Rußsensor**

Die Oxidation von Rußpartikeln

Der Kohlenstoffkern von Ruß verbrennt unter Zugabe von Sauerstoff ab ca. 550 °C. In der Regel reicht hierzu der im Abgas enthaltene Restsauerstoff aus.

$$C + O_2 \Rightarrow CO_2$$

Wird ein Additiv als Oxidationsbeschleuniger eingesetzt, reduziert sich die Verbrennungstemperatur auf ca. 450 °C. Noch besser gelingt die Oxidation, wenn anstelle von Sauerstoff Stickstoffdioxid verwendet wird. Dieses Gas wird an einem dem Partikelfilter vorgeschalteten Oxidationskatalysator erzeugt und reduziert die Verbrennungstemperatur auf moderate 260 °C.

$$C + 2NO_2 \Rightarrow CO_2 + 2NO$$

Dies gilt es zu berücksichtigen, falls der Rußsensor mit einer Pyrolysefunktion ausgestattet werden soll.

Die elektrische Leitfähigkeit von Ruß

In erster Linie hängt die Leitfähigkeit von Ruß vom Aufbau und der Temperatur ab. Dabei ist zu beachten, dass hierbei nicht die Zündtemperatur überschritten wird. Eine genaue Einhaltung einer Temperatur über 200 °C und unter 450 °C führt zu reproduzierbaren Messbedingungen und verbessert das Messergebnis. Diese Temperaturführung lässt sich relativ einfach über eine niederohmige Heizerstruktur realisieren. Hierfür wird zumeist ein Platinmäander benutzt, der dank des Pt-typischen Verhaltens eine präzise Regelung zulässt.

Der Aufbau eines resistiven Rußsensors

Der Aufbau eines solchen Sensors ähnelt stark dem eines Platintemperaturflachmesswiderstands. Die Basis bildet ein Substrat aus einem keramischen Material, z. B. Al_2O_3. Auf der Unterseite wird ein Platinmäander aufgebracht (z. B. Pt10), der als Heizelement dient und mit einer Passivierungsschicht versehen ist.

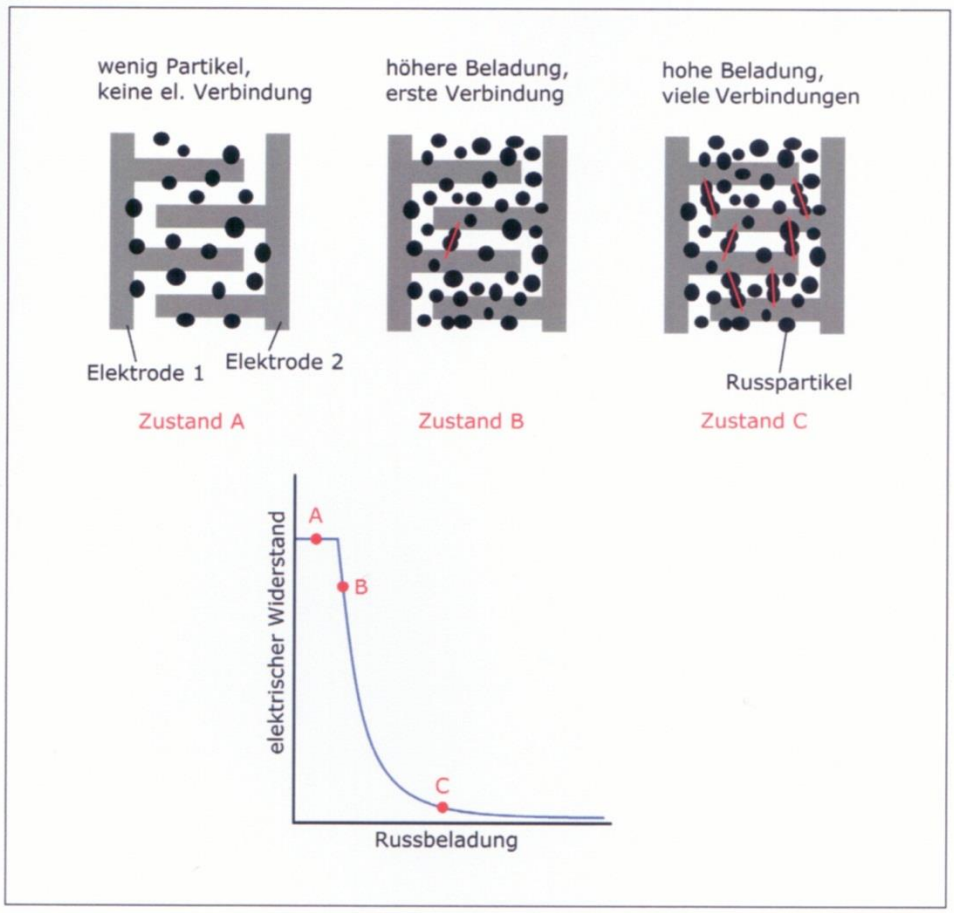
Die andere Seite des Substrats wird mit zwei Elektroden versehen. Diese können als interdigitale Kammstruktur (Heraeus) oder als ineinander verschlungene Mäander (Sensor-Nite) ausgeführt sein. Als Elektrodenmaterial kommt in Frage, was elektrisch leitfähig ist und den hohen Temperaturspitzen im Abgas widerstehen kann. Platin ist hierfür gut geeignet. Diese Seite wird dem Abgasstrom zugewandt und berußt. Solange sich kein Ruß angelagert hat, gibt es zwischen den Elektroden keine leitende Verbindung.

Erst wenn sich genügend Partikel zwischen den Elektroden befinden, sodass sich eine durchgehende elektrische Verbindung ergibt, fällt der elektrische Widerstandswert schlagartig. Mit weiterer Berußung fällt der Widerstand weiter, jedoch nicht mehr so stark. Der Signalverlauf ähnelt dem eines NTC-Widerstands.

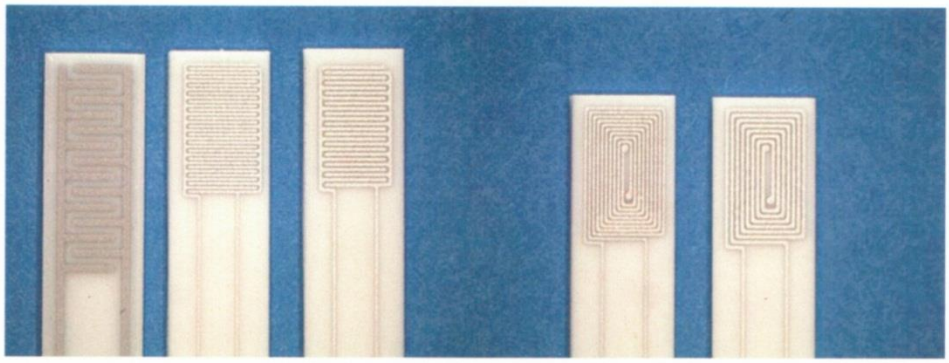
Die Pyrolysefunktion

Wenn der Gegendruck im Abgassystem über einen Schwellwert hinaus ansteigt, wird der Partikelfilter regeneriert. Hierzu wird die Abgastemperatur über die Zündtemperatur des Rußes angehoben.

Während der Regeneration steigen sowohl die CO_2-Emissi-



▲ **Zur Funktionsweise eines resistiven Rußsensors**



▲ **Pt-Elektroden auf Keramik für Rußsensoren**

onen als auch die Belastung mit Nanopartikeln stark an, was das Signal des Partikelsensors beeinflusst. Um dies zu unterbinden, empfiehlt es sich, mit der Filterregeneration durch Pyrolyse auch den Sensor zu reinigen.

Die Heizerstruktur auf der Unterseite heizt das Substrat auf ein Temperaturniveau oberhalb der Zündtemperatur. Die Partikel verbrennen und es verbleibt eine gereinigte Oberfläche.

Der Einbauort

Zunächst sind die Partikel dazu zu bewegen, sich auf der Elektrodenseite des Partikelsensors anzulagern. Untersuchungen zeigten, dass hierzu glatte Oberflächen besser geeignet sind als aufgeraute.

Entscheidend für die Anlagerung ist ferner, dass der Abgasstrom möglichst laminar ist. Diese Forderung ist aufgrund beengter Einbauverhältnisse im realen Fahrzeug am schwierigsten zu erfüllen. Hier helfen nur Strömungssimulationen und Versuche.

Fazit

Eine Anzahl diverser Sensorhersteller hat den resistiven Rußsensor fast zur Serienreife entwickelt. Das Signal hängt sowohl von der Temperaturführung als auch der Konsistenz der Partikel ab. Diese wiederum wird vom jeweiligen Betriebszustand beeinflusst. Somit kommt der Entwicklung einer intelligenten Auswerteelektronik entscheidende Bedeutung zu. Sobald auch dies zufriedenstellend gelöst ist, steht einem Einsatz im Fahrzeug nichts mehr im Weg. Ein realistischer Zeithorizont sind sechs bis 18 Monate.

Das im April 2010 in Viernheim gegründete Unternehmen vertreibt Sensoren für die Abgasreinigung von Verbrennungsmotoren zum Messen der Abgastemperatur, des Abgasdrucks, der angesaugten Luftmasse und Zubehör incl. Auswerteeinheiten. Neben Applikationsberatung werden Workshops 'Grundlagen der Abgasreinigung' und Technologieberatung angeboten. In diesem Zusammenhang werden u. a. Benchmark-Untersuchungen, Freigabetests zu Lebensdauer und Ansprechzeiten zu einer Vielzahl unterschiedlichster Sensoren durchgeführt.

▶ INFO

Autor:
Stefan Carstens
EngineSens Motorsensor GmbH
Mannheimer Str. 44b
68519 Viernheim
Tel.: 06204 986 08 23
Fax: 06204 986 08 25
E-Mail: info@motorsensor.de
www.motorsensor.de