

Entwicklung und experimentelle Erprobung eines Ruß- und Partikelsensors

Prof. Dr.-Ing. **Victor Gheorghiu**

Fachbereich Maschinenbau und Produktion

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg

FUNKTIONSPRINZIP

KONSTRUKTION

MESSVERFAHREN

PROBLEME

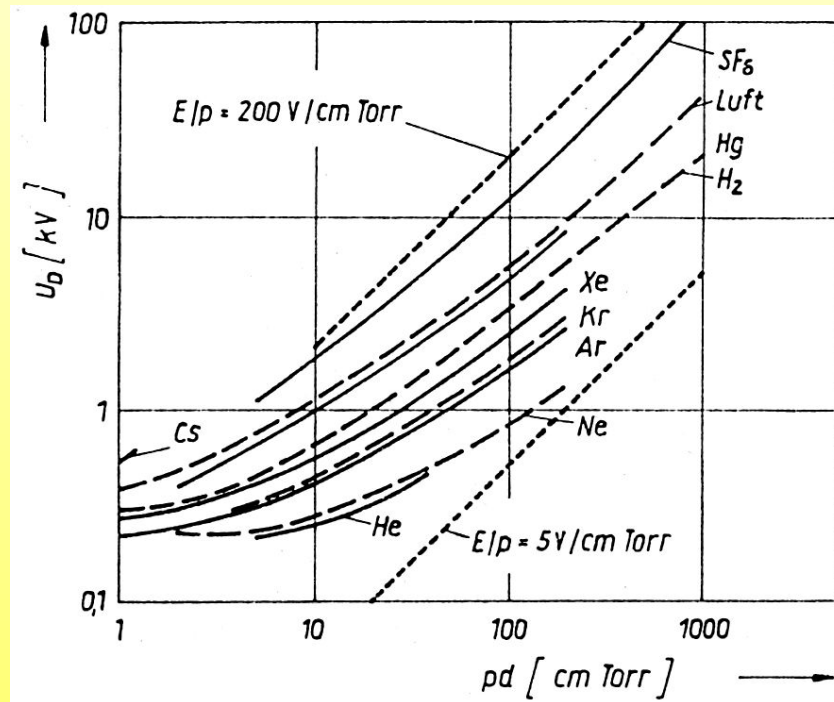
VORTEILE

ENTWICKLUNGSSTAND

weiteres VORGEHEN

1. Der Durchschlag in Gasen erfolgt theoretisch nach dem bekannten **Townsend**-Mechanismus.
2. Die statische Durchschlagsspannung kann auch experimentell ermittelt werden. Die resultierenden Ergebnisse können dann graphisch in Form von **Paschen**-Kurven (s. Bild) dargestellt werden.

Durchschlagsspannung



Produkt aus Druck p und Elektrodenabstand d

FUNKTIONSPRINZIP

KONSTRUKTION

MESSVERFAHREN

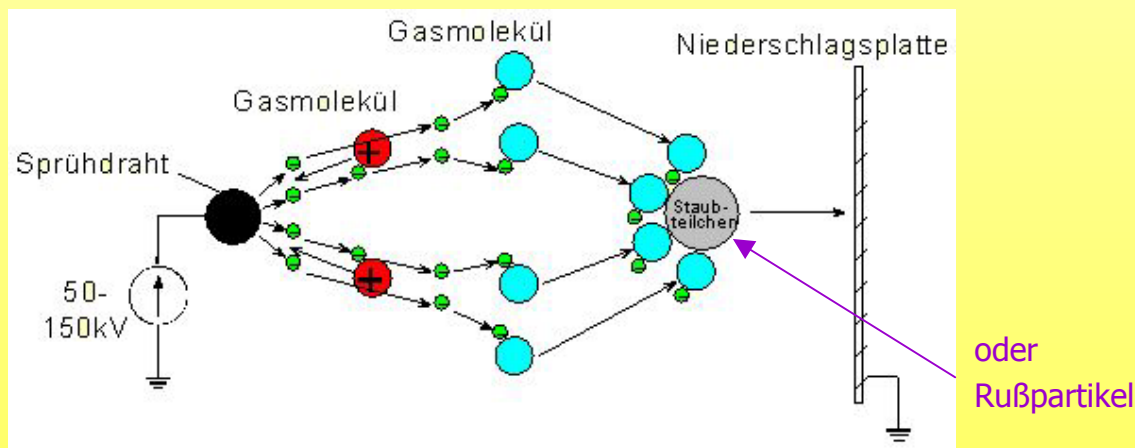
PROBLEME

VORTEILE

ENTWICKLUNGSSTAND

weiteres VORGEHEN

3. Die **Durchschlagsspannung** hängt aber neben Gasdruck und Elektrodenabstand auch von:
 - a) Elektrodenform, –material und –temperatur
 - b) Temperatur, Geschwindigkeit, Feuchtigkeit und Zusammensetzung des Gases
 - c) Anwesenheit der Rußpartikel ab.
4. Der **Elektrofilter-Effekt** (s. Bild) kann auch einen gewissen aber jedoch sehr geringeren Einfluss
 - a) wegen der kurzen Zeitintervalle mit angelegter Spannung zwischen den Elektroden und
 - b) wegen der drahtförmigen Anode (keine Niederschlagsplatte) haben.



FUNKTIONSPRINZIP

KONSTRUKTION

MESSVERFAHREN

PROBLEME

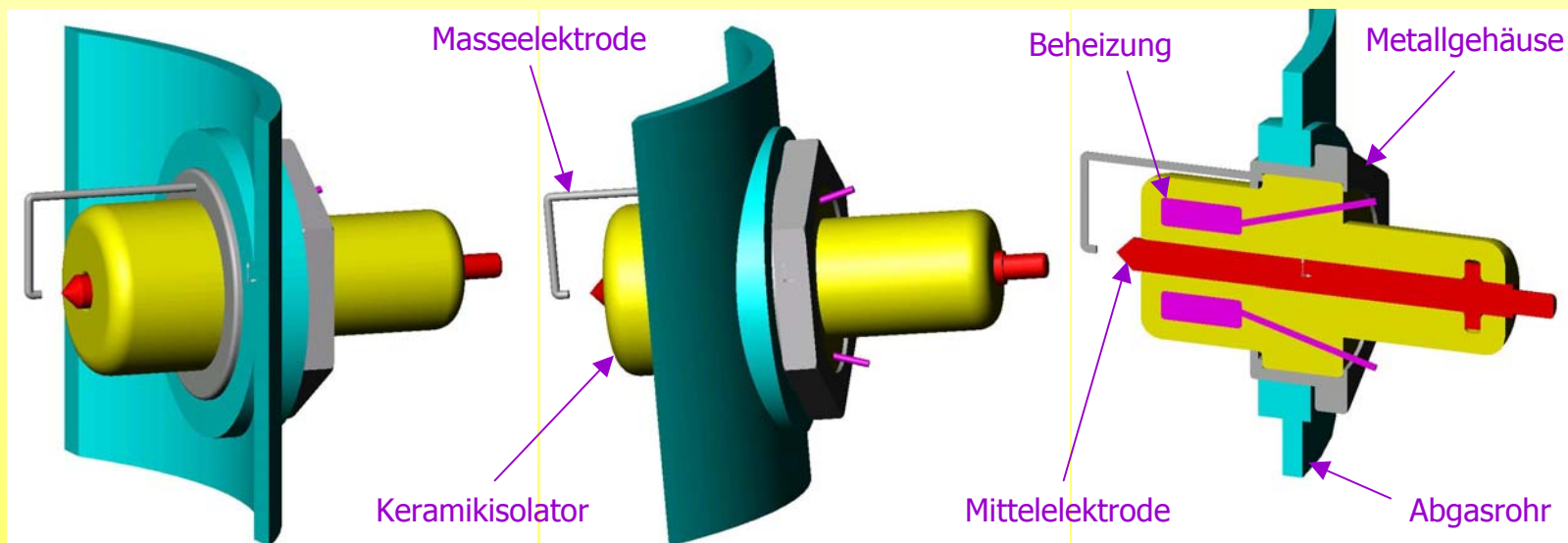
VORTEILE

ENTWICKLUNGSSTAND

weiteres VORGEHEN

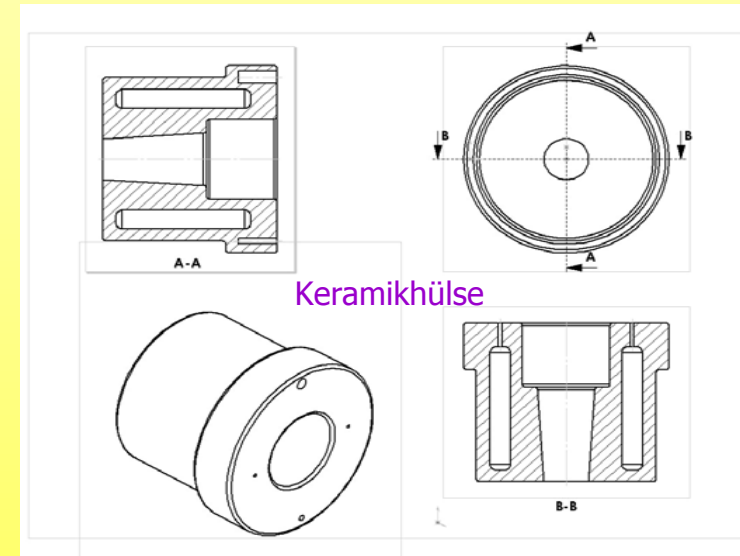
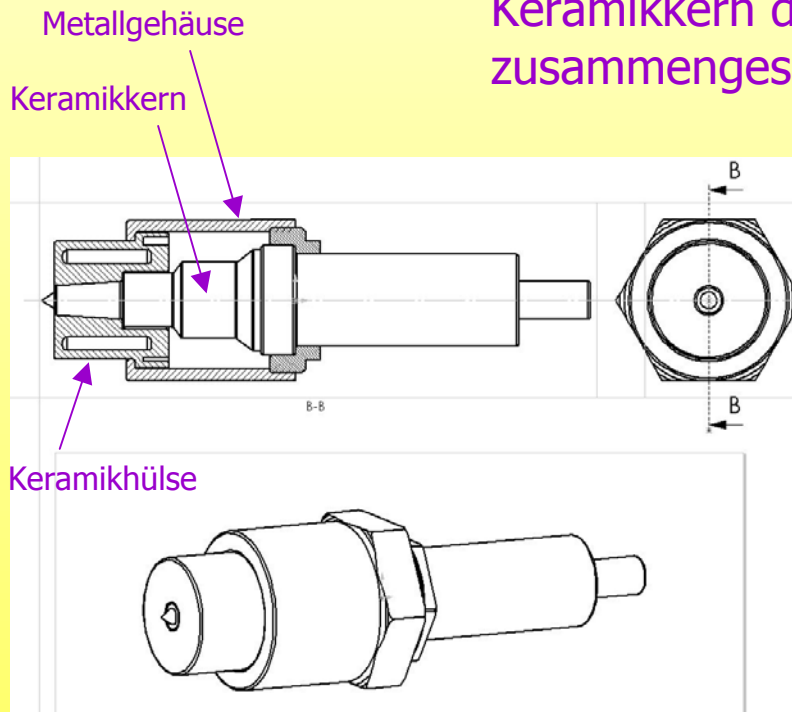
5. Experimentell wurde nachgewiesen, dass die Kohlenstoff- bzw. **Rußpartikel**, die sich zwischen den Elektroden befinden und/oder auf der Kathode ablagern, erleichtern das Freisetzen von Elektronen durch das anliegende elektrische Feld. Hierdurch **sinkt die** für einen elektrischen Durchschlag **notwendige Spannung** um bis zu 70%.
6. Außerdem wurde noch ein Einfluss auf die **Stabilität der Spannung** gefunden, bei der ein elektrischer Durchschlag erfolgt. Als Beispiel bei einer Atmosphäre ohne Rußpartikel (reine Luft) lag die Streuung für die Durchschlagsspannung bei $\pm 22\%$. Unter dem Einfluss von Ruß verringerte sich dieser Bereich auf $\pm 4\%$, und dies auch im Falle von sehr kleinen Rußkonzentrationen.

1. Im Prinzip ist der Rußsensor wie eine übliche **Zündkerze** für Ottomotoren gebaut.
2. Die Mittelelektrode und die Masseelektrode sind in bezug auf Abgasströmungsrichtung **positionierbar** und die Mittelelektrode ist **beheizbar**.
3. Der **Keramisolator** eines beheizten Rußsensors kann in erster Variante aus einem einzelnen Teil mit integrierter Beheizung (s. unten) hergestellt werden.

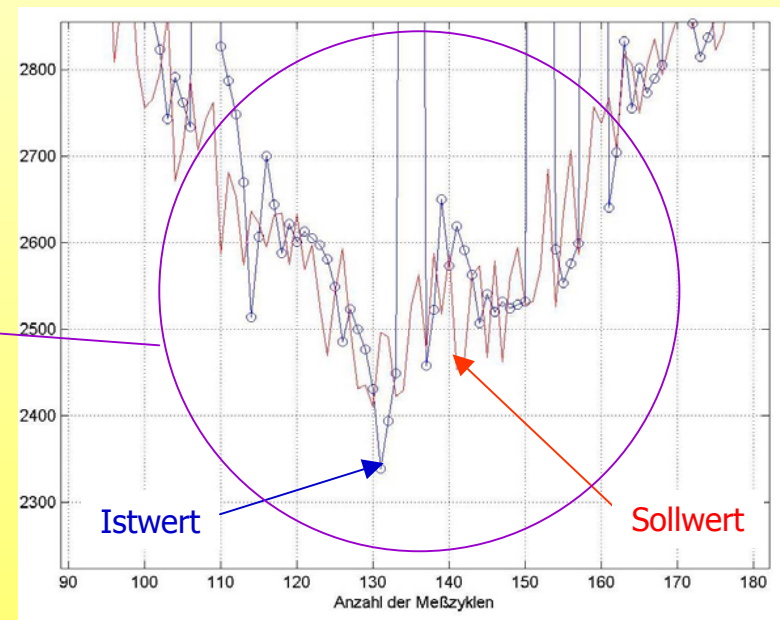
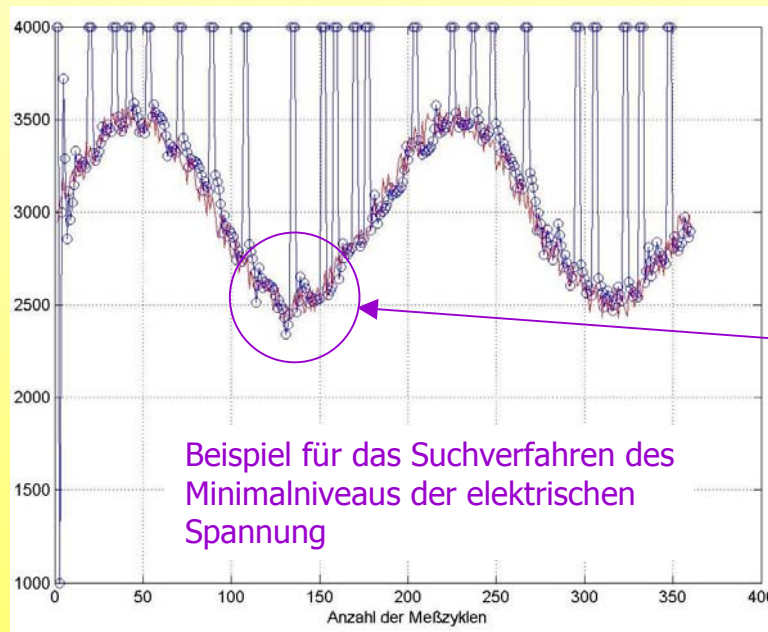


4. Der **Keramisolator** eines beheizten Rußsensors kann aber auch aus zwei oder mehreren Keramikteilen (unten links) hergestellt werden.

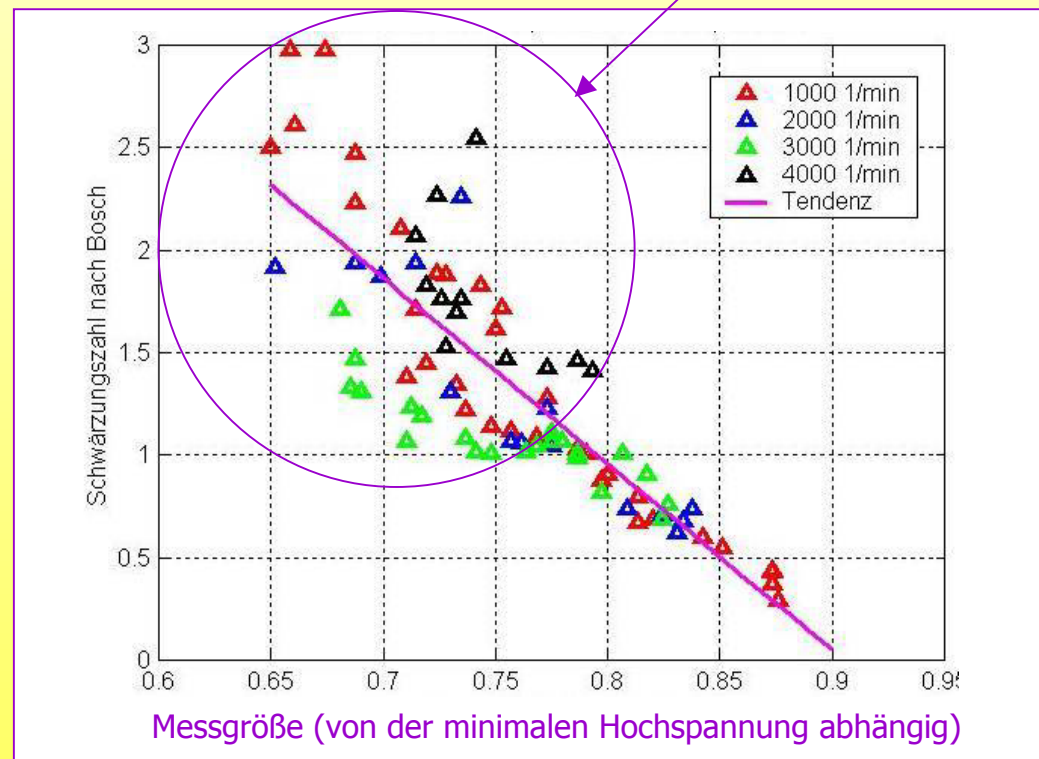
- Der Vorteil dieser Ausführung liegt darin, dass der Keramikern mit der Mittelelektrode aus einer üblichen Zündkerze stammen kann.
- Die Keramikhülse mit integrierter Beheizung ist somit ein eigenständiger Teil, der mit dem Keramikern durch das Metallgehäuse zusammengesetzt wird.



Das **Messverfahren** zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden Gasen besteht darin, das Minimalniveau der zwischen den Elektroden angelegten elektrischen Spannung, bei dem noch ständig Funken auftreten, als Maß für die Ruß- und Partikelkonzentration zu verwenden.



1. Der **unbeheizte Rußsensor** neigt bei großen Rußzahlen zur **Verrußung**. Die Folge ist, dass die Entladungen nicht mehr zwischen den beiden Elektroden sondern zwischen Mittelelektrode und Masse (Abgasrohr) entlang des Keramikisolators über die abgelagerte Rußschicht erfolgen können. In diesem Fall werden ungenaue (und mit einer großen Streubreite) Rußwerte gemessen (s. den Bereich mit $SZ > 1$).



2. Das minimale **Spannungsniveau**, bei dem noch Funken auftreten, hängt leider auch von anderen **Betriebsparametern** ab, wie z.B.: Temperatur, Druck, Massenstrom und Zusammensetzung (Luft-Kraftstoff-Verhältnis) der Abgase, Motordrehzahl und –last, Batteriespannungsniveau usw.
3. Das **Messverfahren** benötigt ein **Steuergerät**, das folgende Funktionen erledigen muss:
 - a) Suchen der minimalen Spannung, bei der noch Funken auftreten ⇒ **Messgröße-Erfassung**
 - b) Aufnehmen der anderen Betriebsparameter (z.B. über CAN-Bus von Motorsteuerung) ⇒ **Quereinflussparameter-Erfassung**
 - c) Korrektur der Messgröße in Abhängigkeit von Quereinflussparametern ⇒ **Messgröße-Bestimmung**
 - d) Senden des Endergebnisses über das Bus-System zur Motorsteuerung ⇒ **Messgröße-Mitteilung**

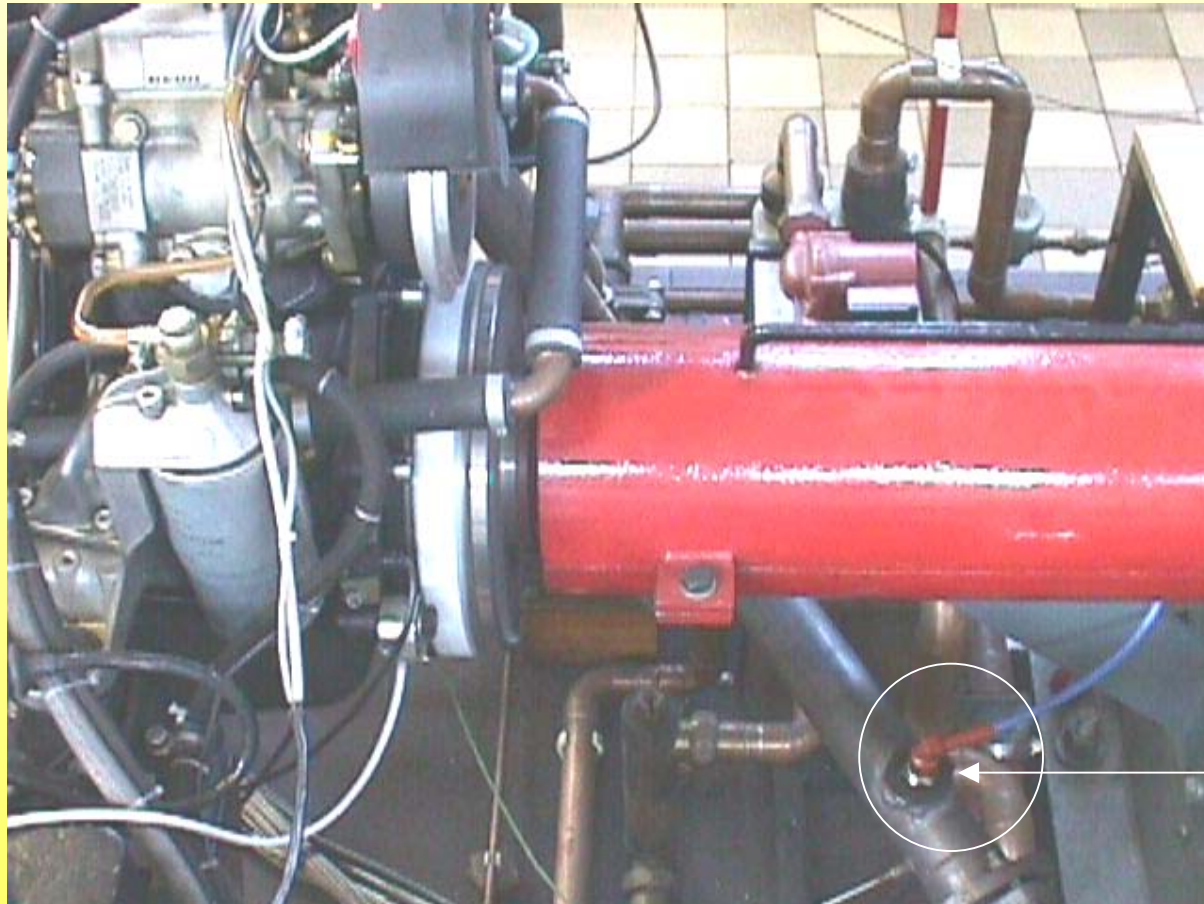
1. Eine besondere Eigenschaft dieser Entwicklung ist, dass der Rußsensor während des ganzen Messverfahrens **sehr wenig elektrische Energie verbraucht** (unbeheizt unter 30 W, mit Beheizung insgesamt ca. 70 W).
2. Die **Herstellung** des Rußsensors sollte praktisch keine große neue (unbekannte) Fertigungsprobleme verursachen.
3. Die **Herstellungskosten** eines Serie-Rußsensors sollten ca. 200% von denen einer (guten) Zünd- bzw. Glühkerze betragen.
4. Das **Steuergerät** ist relativ einfach (und somit billig) und kann:
 - a) entweder als separate Einheit realisiert werden (heutiger Entwicklungsstand),
 - b) oder zusammen mit der Zündspule eine Einheit bilden und in der Nähe des Rußsensors platziert werden,
 - c) oder noch z.B. im Motorsteuergerät integriert werden.

5. Im Falle, dass das Steuergerät nicht in das Motorsteuergerät integriert wird, wird somit ein sogenannter **intelligenter Sensor** entstehen, der z.B. den durchschnittlichen Messwert über ein Bussystem (z.B. CAN) der Motorsteuerung liefern kann.
6. Der Rußsensor kann überall (d.h. motornah, vor und nach dem Rußfilter) im Auspuff eingesetzt werden.
7. Der Rußsensor eignet sich als einfacher **Melder** bei der Überschreitung einer gewissen Ruß-Konzentrationschwelle. In diesem Fall kann er z.B. nach dem Rußfilter eingesetzt werden, um den Zeitpunkt für die Einleitung der Regenerationsphase zu bestimmen, und ebenfalls in OBD I integriert werden.
8. Der Rußsensor kann aber auch als ständiger **Messfühler** der Rußkonzentration eingesetzt werden. In diesem Fall kann der Rußsensor zusätzlich zu den Melder-Funktionen auch in der Motorsteuerung integriert werden, um somit eine Regelung im geschlossenen Kreis für den Ruß-Ausstoß zu ermöglichen. Ebenfalls kann er in OBD II integriert werden.

Das heutige **Entwicklungssystem** besteht aus Überwachungs-PC, Zündspule, ev. CAN-Bus-Überwacher, Rußsensor und Steuergerät.



1. Der **Rußsensors** wurde in verschiedenen Varianten realisiert und in den letzten zwei Jahren intensiv am Motorprüfstand getestet.
2. Das **Steuergerät** wurde bisher in drei Varianten hergestellt und getestet.



Rußsensor am Auspuffrohr

weiteres VORGEHEN

1. Ein neuer Prototyp des **beheizten Rußsensors** in der Variante Zündkerzekern+Keramikhülse wird gefertigt.
2. Ein anderer Prototyp des **beheizten Rußsensors** in der Variante aus einem einzelnen Keramikteil wird ebenfalls gefertigt.
3. Beide neuen Prototypvarianten werden am Motorprüfstand in Hamburg und Darmstadt auf unterschiedlichen Dieselmotoren getestet und bewertet.
4. Korrekturen für die Querabhängigkeiten werden anhand von geeigneten Prüfstandsversuchen und theoretischen Untersuchungen bestimmt.
5. Partner für eine Zusammenarbeit werden gesucht.