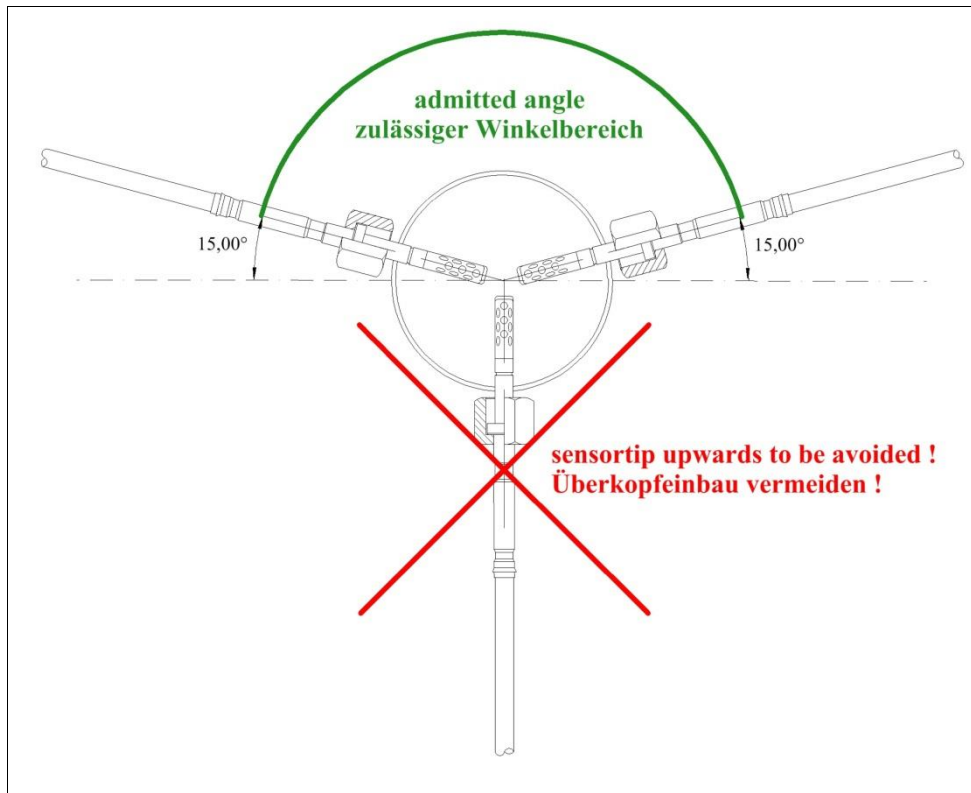


## Applikation von Abgastemperatursensoren Pt200

Abgastemperatursensoren überwachen beim Benzinmotor mit Schichtladung das Beladen, Regenerieren und Entschwefeln des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators. Bei Dieselmotoren mit Partikelfilter sind sie integrales Bestandteil des Beladungsmodells und überwachen den Partikelabbrand. Im nachgeschalteten Entstickungskatalysator detektieren sie das Temperaturfenster zum Einspritzen von Additiven zur Ammoniakherzeugung. Sowohl bei Selbstzündern als auch bei Benzinern ist Downsizing in Verbindung mit Turboaufladung gängige Praxis. Daher ist aus Gründen des Bauteilschutzes eine Temperaturüberwachung von Turboladern immer häufiger ein Thema.



### ▲ Restriktionen Einbauposition offene Abgasfühler Temperatur Lambda Stickoxid

Bei Motoren mit Niederdruckabgasrückführung gestaltet sich die Bestimmung der Zylinderladung als besonders anspruchsvoll. Hier wird häufig ein Temperaturfühler benutzt, um den ersten Hauptsatz der Thermodynamik anwenden zu können. In den letzten 10 Jahren hat die Anwendung von Temperatursensoren im Abgasstrang einen enormen Aufschwung genommen.

#### Der Einbauort entscheidet über das Messergebnis

In den seltensten Fällen herrschen an den möglichen Einbauorten laminare Strömungsverhältnisse. Nur dann

repräsentiert die Rohrmitte die Stelle mit der höchsten Gastemperatur. Üblicherweise wandert der heißeste Gasstrom in Abhängigkeit von Drehzahl und Motorlast außerhalb des Mittelpunktes im Abgasrohr. Prüfstandtests und Simulationen sind notwendig, um bei kritischen Betriebspunkten die optimale Lage der Sensortip zu ermitteln. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Fühler kaum kompatibel sind. Obwohl sie eine ähnliche Kennlinie aufweisen, sind die Unterschiede bezüglich Wärmeableitung und Ansprechzeit so gravierend, dass es nur selten möglich ist Sensortyp A durch Sensortyp B ohne Anpassung zu ersetzen.

Bauformen mit gelochter Messspitze zeigen eine gute Ansprechzeit. Werden diese jedoch in partikelbelasteten Abgasen im Temperaturbereich ständig unter 600° C eingesetzt, kann es zu schädlichen Rußablagerungen kommen. Diese Probleme sind bei geschlossenen Bauformen unbekannt. Dafür hat man mit längerer Ansprechzeit und einem größeren Wärmeableitfehler zu kämpfen. Man kommt nicht um hin, jede Sensorapplikation auf dem Prüfstand gewissenhaft zu verifizieren. Offene Bauformen unterliegen ferner spezifischen Restriktionen, die für geschlossene nicht gelten. So gibt es im Abgasstrang die Möglichkeit der Kondensatbildung. Damit diese aggressiven Flüssigkeiten abtropfen und nicht das Sensorinnenleben beeinträchtigen, ist die Sensortip stets nach unten geneigt zu verbauen. Als Faustformel gilt: Mindestens 15° aus der Horizontalen nach unten neigen. Bei Geländefahrzeugen und SUV gilt der doppelte Wert.

#### Die Erfordernisse der OBD

Die On-Board-Diagnostik-Richtlinie schreibt vor, dass alle abgasrelevanten Bauteile zu überwachen sind. Als solches gilt auch der Abgastemperaturfühler. Eine sehr bewährte Methode ist der sogenannte „Kaltabgleich“. Nach 8 Stunden Motorstillstand kann man davon ausgehen, dass alle Motorbauteile Umgebungstemperatur angenommen haben. Beim Einschalten der Zündung, noch vor dem Betätigen des Anlassers, kann daher die Temperatur im Ansaugtrakt mit der in der Abgasanlage verglichen werden. Auch die Kühlmitteltemperatur liegt nun auf dem Niveau der Umgebungstemperatur. Sollte einer dieser Fühler ausgefallen sein, lässt sich das leicht feststellen. Auch eine unzulässig hohe Drift lässt.

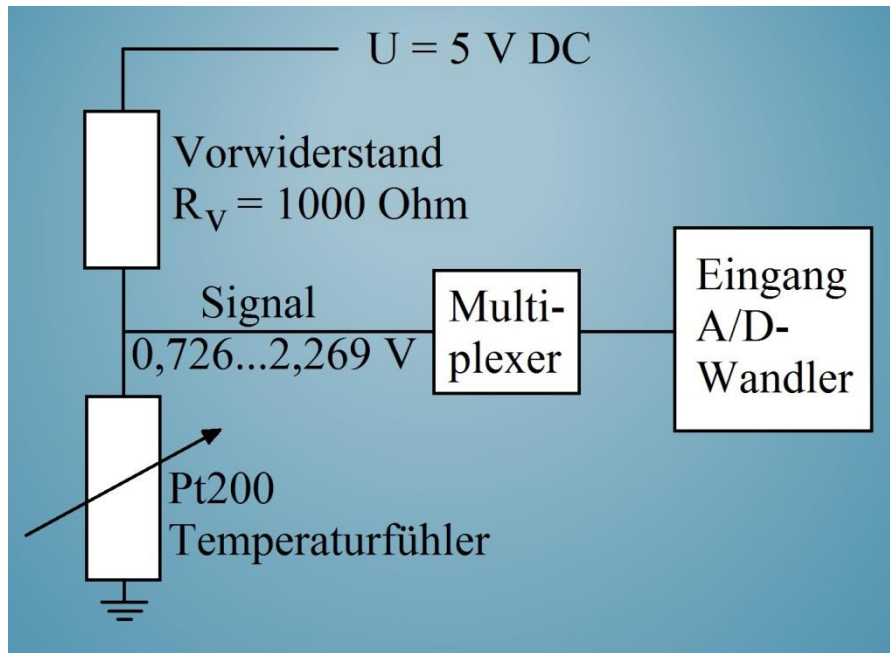
sich so ermitteln, liegen beispielsweise mehrere Temperaturanzeigen bei 15°C, nur der Abgastemperaturfühler zeigt 25°C, dann ist dieser um 10°C weggedriftet und sollte bei der nächsten Wartung ersetzt werden. Dies ist der Hauptvorteil von Pt200 Fühlern im Vergleich zu solchen mit NTC-Element, die aufgrund des extrem hohen Kaltwiderstandes die Umgebungstemperatur nicht messen können.

**Ideal für den Bereich 400-900°C**

Typisch für einen Pt200 ist ein Nennwiderstand von 200 Ω bei 0°C und ein Einsatztemperaturbereich bis ca. 900°C. Nur wenige Pt200 folgen mit der Kennlinie der in der DIN EN 60751 vorgegeben Norm. Aus Gründen der Lebensdauer wird eine oft spezielle Platindotierung für den eigentlichen Messmäander benutzt, die Vergiftungserscheinungen besser widersteht aber den Temperaturkoeffizienten absenkt.

**Der Einbauort ist entscheidend**

Die in der Abgasreinigung eingesetzten Temperatursensoren sind in die Motorsteuerung zu integrieren, die eine stabilisierte Spannung von 5 V zur Verfügung stellt. Das erste Kriterium für eine Auslegung der Auswerteschaltung ist der Einbauort des Temperaturfühlers bzw. der Einsatztemperaturbereich des Sensors. Gerade bei Applikationen an Dieselmotoren kommt es vor, dass der Sensor keinen Temperaturen über 750 °C ausgesetzt wird. Wenn dies gewährleistet ist, dann ist es möglich mit einem niedrigeren Vorwiderstand den Messstrom zu erhöhen und die Signalauflösung zu optimieren. Im extremen Hochtemperaturbereich (ab 780 °C) werden die Basismaterialien der Sensoren bis an die Grenze beansprucht: Ein keramisches Substrat wird selbst leicht stromleitend und führt zu einer minimalen Abflachung der Kennlinie durch Kurzschließen des Messmäanders. Die Platinstruktur



▲ Spannungsteilerschaltung für die Abgas-Temperaturmessung

muss durch eine Passivierung daran gehindert werden mit der Umgebung zu reagieren. Folglich nimmt die höchstzulässige Stromstärke mit zunehmender Temperatur ab.

**Der Messstrom beeinflusst über den Vorwiderstand den Signalhub**

Bei der Festlegung der Höhe des Messstromes gibt es einen Zielkonflikt:

Einerseits erfordern Hochtemperaturalterung und Selbst-erwärmung einen möglichst geringen Strom. Andererseits wird für die Signalverarbeitung ein hoher Signalhub mit niedrigem Vorwiderstand gewünscht. Der beste Kompromiss ist zu finden. Für den Typ HTS wurde die höchstzulässige Stromstärke auf 4 mA limitiert. Bei Temperaturen oberhalb 750 °C wird ein Wert von nur 1 mA empfohlen. Aufgrund der limitierten Stromstärke darf ein Temperatursensor keinesfalls direkt an der 5V-Spannungsversorgung des Steuergerätes betrieben werden. Der Abgriff der Messspannung erfolgt mittels einer Spannungsteilerschaltung und Vorwiderstand. Aufgrund der kritischen Messströme wird für Hochtemperaturanwendungen ein Vorwiderstand (Pull-up) 1000 Ω± 0,1% eingesetzt.

**Bei alten A/D-Wandlern kritisch: der geringe Signalhub von Pt200**

Für Turboladeranwendungen liegt der typische Einsatzbereich bei -40 °C bis über +950 °C. Eine Elektronik muss in der Lage sein, alle in diesem Bereich vorkommenden Messwerte einwandfrei zu erkennen.

Für den Typ HTS ergeben sich am Spannungsteiler folgende Werte:

$U_B = 5 \text{ V}; R_V = 1000 \text{ } \Omega$

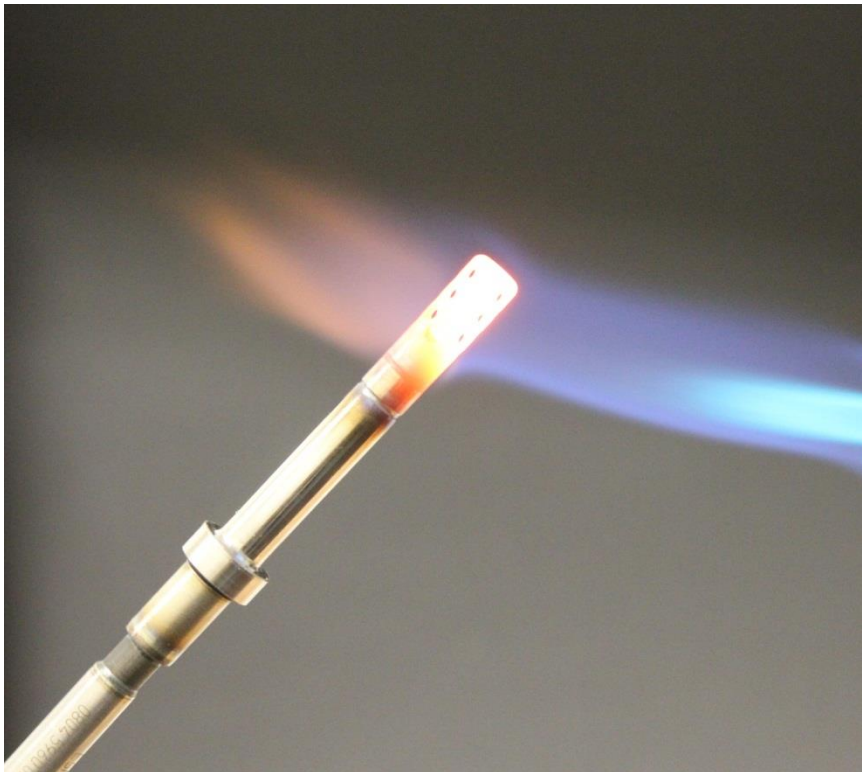
Bei -40°C:  $R_T = R_{-40} = 169,9 \text{ } \Omega$

$$U_{SP} = \frac{U_B \times R_T}{R_V + R_T} = \frac{5 \text{ V} \times 169,9 \text{ } \Omega}{1.169,9 \text{ } \Omega} = 0,726 \text{ V}$$

Dies ist die unterste Signalspannung, die ein Pt200 Sensor im Winterbetrieb bei -40 °C generiert. Der höchste Wert ergibt sich im Vollastbereich bei + 950 °C:

Bei +950 °C:  $R_T = R_{950} = 830,8 \text{ } \Omega$

$$U_{SP} = \frac{U_B \times R_T}{R_V + R_T} = \frac{5 \text{ V} \times 830,8 \text{ } \Omega}{1.830,8 \text{ } \Omega} = 2,269 \text{ V}$$



▲ Offener PT200 glühend

Eine einfache und preisgünstigste Variante eines A/D-Wandlers ist ein 10-bit-Konverter. Ein solcher Wandler ist in der Lage eine Eingangsspannung von 0...5 V in  $2^{10} = 1024$  Teilschritte zu untergliedern. Aus dem zur Verfügung stehenden Signaleingang von 0-5 V werden lediglich ca. 1,54 V Signallhub, entsprechend -40°C bis +950°C, genutzt. Unterteilt man den Nutzbereich von 5 V in 1024 digits (Teilschritte), dann wird erst bei Überschreitung einer Spannung von 4,88 mV eine Signaländerung im digitalen Bereich angezeigt. Der Nutzbereich von Pt200 liegt bei 316 digits. Damit kann eine Genauigkeit ohne Berücksichtigung von Toleranzen und Fehlern von 3 °C/dig erreicht werden.

Sollte diese Auflösung im einzelnen Fall nicht ausreichen, stehen zwei Alternativen zur Wahl:

1. Verstärkung des Spannungsteiler-signals

2. Einsatz eines höherwertigen AD-Wandlers

**Zu 1:** Eine Signalverstärkung bedeutet Mehraufwand. Zusätzliche Bauteile führen zusätzlich zu einer Addition von Toleranzen, so dass diese Möglichkeit nur nach sorgfältiger Abwägung aller Vor- und Nachteile gewählt werden sollte.

**Zu 2:** Der Trend geht eindeutig in Richtung 16-bit-AD-Wandler. Dieser stellt bereits 65 536 Teilschritte zur Verfügung. Damit steigt die Auflösung um den Faktor 64 auf 0,05°C/dig. Dieser Wert ist völlig ausreichend.

**Fazit**

Bei der Gesamtbeurteilung eines Temperaturmesssystems sind viele Parameter zu berücksichtigen:



▲ Abgastemperaturfühler HTS

Einsatztemperatur, geforderte Genauigkeit, Güte des A/D-Wandlers und des Vorwiderstandes. Bei der Auswahl des geeigneten Temperaturfühlers sind die Komponenten der gesamten Messkette zu berücksichtigen, um zu einer gesicherten Aussage zu kommen. Kleine Fehler in der Messkette können drastische Auswirkungen auf das Messergebnis haben.

INFO

Autor: Stefan Carstens  
 Kontakt:  
 EngineSens Motorsensor GmbH  
 Home of EngineSens® Probes  
 www.motorsensor.de  
 Mannheimer Str. 44b  
 68519 Viernheim  
 Tel.: 06204 986 08 23  
 Fax: 06204 986 08 25