Dale Earnhardt junior's Chevrolet Impala-CoT während der Speedweeks in Daytona.
Shot by The Daredevil at Daytona during Speedweeks 2008 (Freewheeling Daredevil – Flickr).

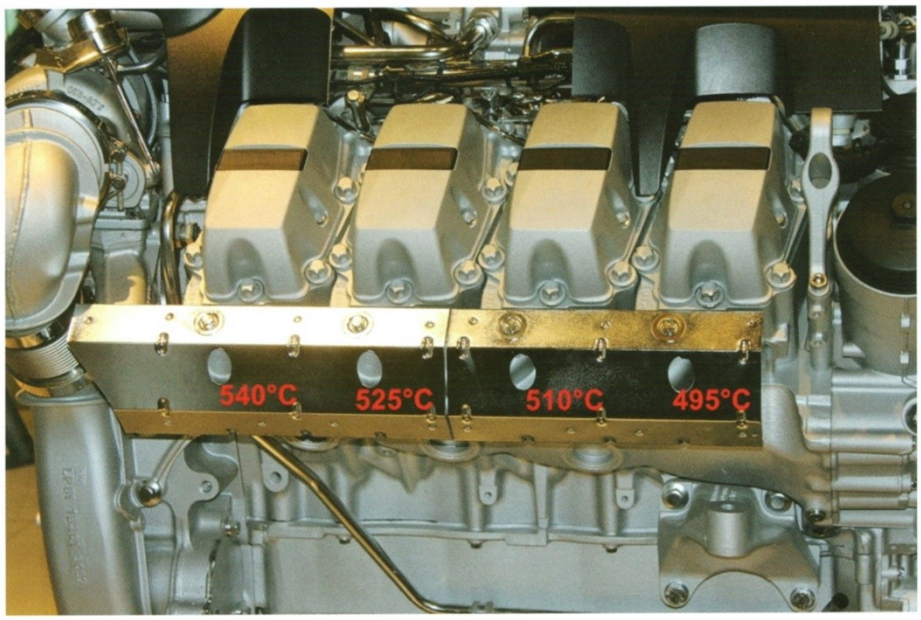
Abgastemperaturmessung an einzelnen Zylindern bei Biogas- und Stationärtriebwerken

Die Messung der Abgastemperatur kann ein wenig mit Fiebermessen beim menschlichen Körper verglichen werden. Tritt eine Erkrankung auf, ändert sich die Körperkerntemperatur. Analoges gilt für die Abgastemperatur von Verbrennungskraftmaschinen. Unter konstanter Last und unveränderten Umgebungsbedingungen, stellt sich auch eine stabile zylinderindividuelle Abgastemperatur ein. Wird nun der Sauerstoffgehalt erhöht, steigt die Abgastemperatur; sinkt der Gehalt, fällt die Temperatur. Als Faustregel gilt: Erhöht sich der Lambdawert um 0,1 steigt bei Gasmotoren die Abgastemperatur um ca. 100 °C und umgekehrt.

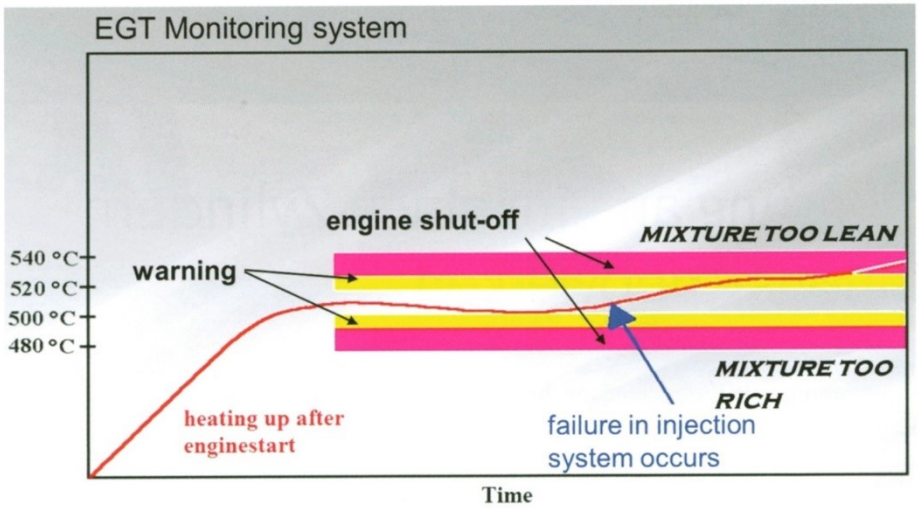
Diesen Effekt machten sich Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts die amerikanischen Stockcars zunutze. Damals wurden Vergasermotoren eingesetzt. Die Rennstrecke gleicht einem großen Oval. In den Kurven treten Beschleunigungskräfte bis 6 g auf. Aufgrund der Fliehkräfte, die auf das Verbrennungsgemisch wirken, erhält der kurvenäußere Zylinder zu viel Kraftstoff, der kurveninnere zu wenig. Der Einbau von Temperaturfühlern in den Abgaskrümmer nahe dem Auslassventil wies die Temperaturunterschiede nach und ermöglichte eine für jede Strecke optimierte Gemischangleichung. Somit wurde vermieden, dass ein Zylinder überhitzte.

Diese Methodik wurde wenige Jahre später bei Stationärmotoren, die mit Palmöl betrieben wurden, aufgegriffen. Das Palmöl muss vor der Einspritzung vorgewärmt werden, um eine ausreichende Viskosität zu erzielen. Tritt am Einspritzsystem eine Störung auf, erhöht sich die Abgastemperatur zunächst, da sich der relative Sauerstoffanteil des Verbrennungsgemisches erhöht. Der Betreiber muss dann schnell reagieren und vor dem Abstellen des Motors die Treibstoffleitungen spülen. Erkaltetes Palmöl verstopft diese und führt zu großen Schäden an Zylinderkopf und Einspritzsystem. Diese Problematik betrifft auch Schwerölmotoren. Nachdem die steuerlichen Anreize für Palmöl entfallen waren, verschwanden diese Motoren rasch vom Markt.

Heute werden Biogasmotoren propagiert und sind längst aus der Nische der Sondermotoren mit nicht marktrelevanter Stückzahl herausgekommen. Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) schätzte,



▲ **Typische Abgastemperaturen je Zylinder an einem 8-Zylinder Dieselmotor-Turbolader (links im Bild).**

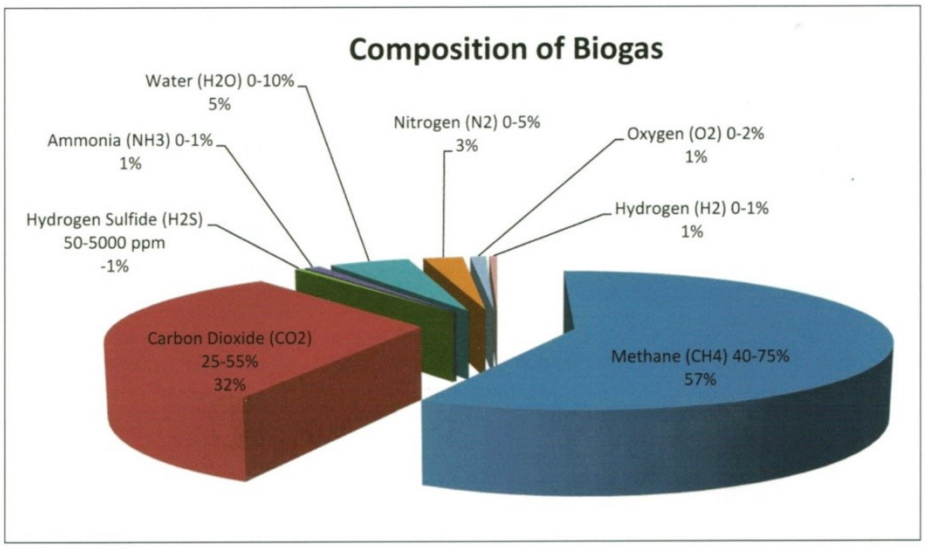


▲ **Das Abgastemperaturalarmsystem stellt einen Dieselmotor dar. Die Kunden programmieren diese Schwellwerte. Teilweise werden die Betreiber per SMS aufs Handy informiert.**

dass im ersten Halbjahr 2018 der Anteil der erneuerbaren Energiequellen an der Bruttostromerzeugung in Deutschland auf 36 % angestiegen ist. Der Anteil der Energie aus Biomasse beträgt nun beachtliche 7,1 %. Heute werden große 6-18 Zylindermotoren mit Fremdzündung ausgestattet und biogastauglich umgerüstet. Solche Blockheizkraftwerke (BHKW) sind mit einem Generator ausgestattet, der mit an die Kurbelwelle angeflanscht wird. Große BHKW liegen heute im Bereich von 10 MW elektrischer Leistung. Biogas besteht zu 50 bis 60 % aus Methan. Der Rest ist überwiegend CO_2 mit einem geringen Anteil an Spurengasen. H_2S ist ein typisches Spurengas, welches zur Versauerung des Motoröls führt. Seine Verbrennung fördert die Bildung von SO_2, welches wiederum Korrosion im Abgasstrang stark fördert. Weitere Spurengase wie Thioäther, Sulfide, Disulfide entstehen durch Fermentation. In Deponie- und Klärgasen werden häufig Siloxane nachgewiesen, in Gasen aus Fettabscheidern Siliziumdioxide. Daher ist Biogas meist einem gesonderten Reinigungsprozess zu unterziehen. Die größte Herausforderung stellt jedoch der Methangehalt dar. Hier kommt es immer wieder zu Schwankungen. Reduziert sich während des Betriebs der Methangehalt, dann ändert dies auch die Abgastemperatur aller Zylinder. Da der Motor nicht mehr im optimalen Fenster betrieben wird, sind beispielsweise die elektrische Last oder Drehzahl anzupassen, etc. Keinesfalls ist die Temperatur aller Zylinder gleich. Die Zylinder, die den geringsten Abstand zum Turbolader haben, werden am besten mit Sauerstoff versorgt und laufen am heißesten. Die am weitesten entfernt liegenden Zylinder weisen die kälteste Abgastemperatur auf. Je nach Größe und Art des Motors kann der Unterschied bis zu 150 °C betragen.

Betrachten wir beispielsweise eine Bank eines Achtzylindermotors. Der dem Turbolader am nächstens liegende Zylinder zeigt 540 °C, der entfernteste 495 °C bei Konstantbetrieb. Typischerweise werden diese Werte in einer SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) mit einer Alarmschwelle von ±25 °C eingestellt. Die meisten Schäden an solchen Anlagen treten glücklicherweise nicht schlagartig sondern schleichend auf. Treten Ablagerungen an der Gaseindüsung auf, dann erhöht sich der Lambdawert und die Abgastemperatur steigt, da eine Unterversorgung mit Brenngas vorliegt. Das in der SPS hinterlegte Toleranzband wird nach oben durchbrochen und löst einen Alarm aus. Große BHKW dürfen nicht sofort abgeschaltet werden. Das elektrische Netz würde instabil werden. Daher wird erst zu Niedriglastzeiten abgestellt. Meist zwischen 2:00 Uhr und 4:00 Uhr morgens. In diesem Zeitfenster ist dann eine Reparatur oder Wartung durchzuführen. BHKW laufen oft 2000 h oder mehr ohne Unterbrechung durch. Bei sehr reinen Gasen kann das Ölwechselintervall bis auf 5000 Stunden erhöht werden.

Kündigt sich ein Turboladerschaden



▲ **Abgastemperaturmessung an einzelnen Zylindern.**

an, sinkt die geförderte verdichtete Luftmasse, der Lambdawert verringert sich, ebenso sinkt die Abgastemperatur deutlich. Diese Regel für Diesel- und Ottomotoren ist leider nicht auf alle Biogasmotoren 1:1 übertragbar. Je nach Gasbeschaffenheit und Motorbauart kann es auch zu Temperaturerhöhungen kommen. In jedem Fall wird das Toleranzband durchbrochen und die SPS gibt eine Fehlermeldung aus. Der Betreiber kann rechtzeitig vor dem Totalausfall einen Betriebsstillstand aufgrund einer Störung beim zuständigen Energieversorger anmelden und schadhafte Bauteile im zugewiesenen Zeitfenster wechseln.

Es liegt auf der Hand, dass die eingesetzten Temperaturfühler präzise und driftfrei sein müssen. Aus Unkenntnis werden oft Typ K Thermoelemente eingesetzt. Gerade im kritischen Bereich oberhalb von 400 °C sind jedoch Gefügeumwandlungen möglich. Dies kann zu Änderungen der Thermospannung führen. Die Gefahr ist bei Konstantbetrieb relativ gering. Tritt jedoch, aus welchen Gründen auch immer, eine Schnellabschaltung auf, dann darf diese Drift nicht unterschätzt werden.

Typischerweise verändert sich dann die ursprüngliche Temperatureinstellung um bis zu 50 °C. Dieses Drift-Phänomen wird als K-Effekt bezeichnet und bleibt meist unbemerkt, da der Betreiber dieses Phänomen keinem Fehler zuordnen kann. Aus diesem Grund werden im Automobilbereich bei Serienfahrzeugen ausschließlich Abgastemperatursensoren auf Basis von Thermoelementen Typ N oder Widerstandsfühler Pt200 bzw. NTC (Negative Temperature Coefficient) eingesetzt. Typ N-Elemente gleichen in ihrer Charakteristik weitgehend dem Typ K. Ihren Thermodrähten werden jedoch Silizium und Spuren von Aluminium zulegiert. Somit gilt der Typ N als absolut driftfrei.

EngineSens Motorsensor bietet mit dem Produkt DTS-V III ein Abgasthermometer auf Basis von Typ N Thermoelementen an. Eine integrierte Auswerteelektronik wandelt die gemessenen Temperaturen in ein 0-5 V Spannungssignal um, welches vom analogen Signaleingang jeder SPS verarbeitet werden kann. Die Eintauchtiefe, Bauart, Dimensionen, können weitgehend vom Kunden bestimmt werden.

Alternativ werden zwei Baureihen als Widerstandstemperaturfühler angeboten: HTS bis 850 °C und M-TS bis 750 °C Einsatztemperatur. Beide sind mit Pt200 Messwiderständen bestückt. Alle Abgastemperaturfühler sind praxisbewährt und werden vor Produktfreigabe harten Tests und Nachmessungen unterzogen.

▶ INFO

Kontakt:
Stefan Carstens
Geschäftsführer
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

EngineSens Motorsensor GmbH Mannheimer Str. 44b, D-68519 Viernheim

Temperatursensoren für den harten Einsatz

- in Abgasreinigungssystemen:
  HTS, M-TS, DTS-V III®
- in korrosiven Medien:
  Titan TE
- in industriellen Anwendungen:
  L-TS, Edelstahl- und Messingfühler

Wir fertigen ab Losgröße 1 !

kundenspezifisch bei Einzel- und Serienfertigung

www.motorsensor.de info@motorsensor.de ✆+49 (0)6204/986 08 23 🖷+49 (0)6204/986 08 25