

Referenz-Gasmassenmessung für Prüfstände

Moderne EURO6-Motoren benötigen eine Vielzahl von Sensoren, um die Umweltvorgaben unter Realbetrieb zu gewährleisten. Dieseltage zeigte, dass viele Motoren die Vorgaben nur im Prüfstandbetrieb erfüllten, On-Road aber um ein Mehrfaches überschritten. Dieser Beitrag richtet das Augenmerk auf die Gasmassenströme am Motor, die sich in Serie wie am Prüfstand als besonders schwierige Messaufgaben erweisen.

AUTOR Dipl. Ing. Oliver Betz | Geschäftsführer Systec Controls in Puchheim

#Gasmassenmessung
#Prüfstands-Sensorik
#Motorenprüfstand
#Durchflussmesser
#Ultraschallmessung
#Differenzdruckmessung

systec Controls, Puchheim, entwickelt, produziert und vertreibt Sensorik für den Anlagenbau und den Automobilbau. Die Strömungs-, Durchfluss- und Füllstandsensoren sind in Kraftwerken, der Chemie, der Petrochemie sowie in Klärwerken im Einsatz, aber auch in Nutzfahrzeugen und Großmotoren zur Messung der Luftmasse oder der EGR. Im Einsatz befindliche Messverfahren sind Differenzdruck- und Ultraschalltechnologie.



Um Sensoren für die Motorserie perfekt zu applizieren, ist eine komplexe Prüfstands-Sensorik notwendig. Es muss sichergestellt werden, dass die Seriensensoren die physikalischen Bedingungen in ausreichender Güte abbilden können. Diese kann nur mit perfekter Prüfstands-ausrüstung gelingen. Welche Gasströme sind für die Motorentwickler relevant?

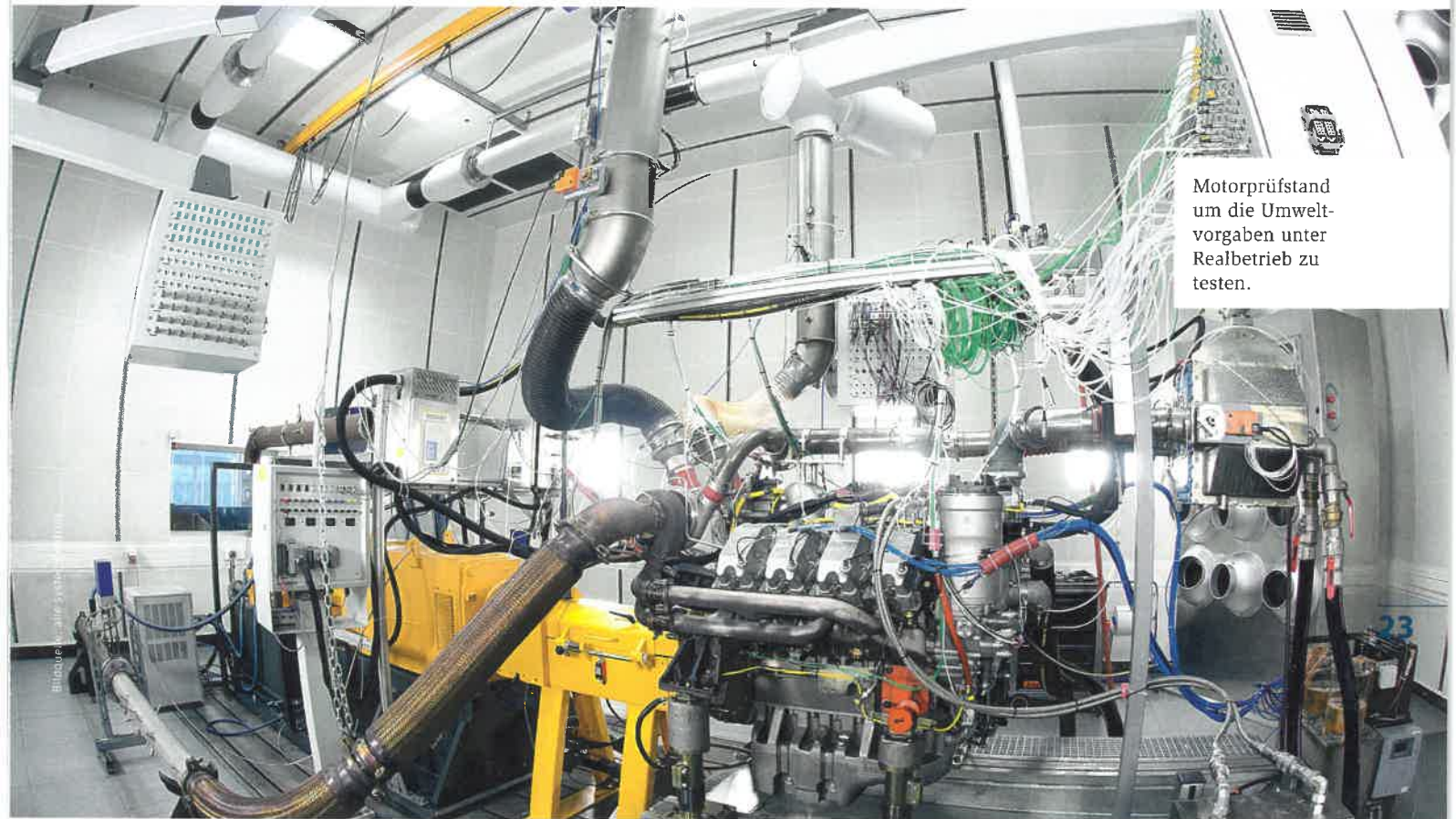
Am Motor gibt es vier Gasvolumenströme, die für den Motorentwickler interessant sind: Frischluft, Abgasrückführung (AGR/EGR), Kurbelgehäuseentlüftung (Blow-By) und das Abgas.

Die wichtigste, primäre Gasmenge zur Regelung des Motors, die Abgasrückführung (AGR/EGR) ist die Frischluft. Bei der Abgasrückführung wird Abgas, der Frischluft zugemischt, um den O₂-Gehalt im Zylinder zu reduzieren. Hiermit lässt sich die Verbrennungsgeschwindigkeit und -temperatur im Zylinder NO_x-optimal regeln. Im Bereich der Kurbelgehäuse-Entlüftung (Blow-By), wird die Leckage an Zylinder-

den und Ventilen zur Identifikation von Verschleiß oder Defekten am Motor gemessen. Und zum Schluss wird das Abgas gemessen, zur Überprüfung der Gesamtmassenbilanz mit Brennstoff und zur Ermittlung von Falschluff und Leckagen am Motor.

Ultraschall- oder Differenzdruckmessungen statt thermischer Durchflussmesser

Die Lambda- und AGR-Regelung kann nur gelingen, wenn die Luftmenge zum Motor präzise definiert ist. Die meisten Motorhersteller setzen auch in Serie Luftmassen-Sensorik ein. Deren Applikation am Motor gehört zu den anspruchsvollsten Aufgaben der Entwicklung. Serien-Sensoren unterliegen am Motor nämlich einer Vielzahl von Einflüssen, die sich in hohem Maße auf die Messgenauigkeit auswirken: Einlaufstrecke, Pulsation, Alterung, Druck- und Temperaturänderung, um nur einige zu nennen. Eine perfekte Referenz am Prüfstand ist daher unabdingbar, um die Serien-Sensoren zu applizieren.



Motorprüfstand um die Umweltvorgaben unter Realbetrieb zu testen.

In der Vergangenheit waren thermische Durchflussmesser der Standard als Prüfstandsreferenz. Nur, thermische Durchflussmesser genügen den erhöhten Anforderungen nicht mehr: Erstens driften thermische Durchflussmesser schnell, was zu Rekalibrierintervallen von teilweise nur drei Monaten führt. Zweitens sind sie pulsationsempfindlich: Das führt oft zu unerklärlichen – oder noch schlimmer – unerkannten Luftmassenfehlern am Prüfstand. Um dieses Problem zu heilen, werden Pulsationsdämpfer eingesetzt, die die Messdynamik verschlechtern. Eine hohe Messdynamik ist jedoch für die Untersuchung transienter Motorzustände unabdingbar. An modernen Prüfständen ersetzen deshalb vermehrt Ultraschall- oder Differenzdruckmessungen die thermischen Durchflussmesser. Bei ausreichender Messrate sind Ultraschallzähler nicht pulsationsempfindlich; außerdem sind keine Pulsationsdämpfer und die damit einhergehende Dynamikreduktion notwendig. Auch die Rekalibrierintervalle sind nicht so kurz wie bei thermischen

Durchflussmessern, da die Ultraschallmessung keine analoge Widerstandsmessung nutzt, sondern eine Zeitmessung.

Bei der Ultraschallmessung ist zu beachten, dass Kondensate die Schallübertragung stören können. Da es sich um eine reine Geschwindigkeitsmessung handelt, muss zusätzlich die Luftdichte ermittelt werden. Außerdem können Ultraschallmessungen nur in einem kleinen Druck- und Temperaturbereich eingesetzt werden, typisch bei -20 bis 60°C .

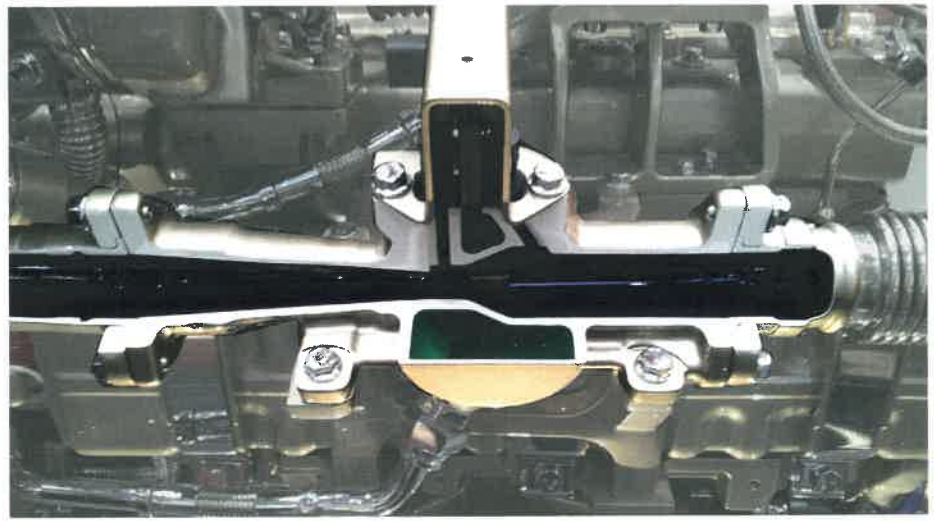


Ultraschall-Durchflussmesser sind bei ausreichender Messrate nicht pulsationsempfindlich und erfordern weder Pulsationsdämpfer noch die damit einhergehende Dynamikreduktion.

Pulsationen messen und filtern

Das differenzdruckbasierte Messsystem deltaflowB von systec Controls löst viele Anforderungen der Frischluftmessung: Durch die hohe Messrate von 2KHz können Pulsationen gemessen und gefiltert werden, transiente Betriebszustände lassen sich in Echtzeit messen. >>>

Damit ist eine rückwirkungsfreie Referenzmessung möglich ist, kommen doppelt anzapfbare Venturis mit Serien-Sensor zum Einsatz.



Die Sensorik ist unempfindlich auf Staub und Kondensate. Je nach Bauform können Durchflüsse bei Temperaturen von mehr als 1000°C gemessen werden. Damit ist auch der Einsatz im Abgas möglich. Die integrierte Druck- und Temperatursensorik ist driftarm, was lange Kalibrierintervalle ermöglicht. Das Messsystem ermittelt direkt den Massenstrom, zusätzliche Dichte-Umwerter sind überflüssig.

Durch den Einsatz von drei multivariablen Staudrucksonden in einem Messquerschnitt wird eine hohe Genauigkeit auch bei schlechten Einlaufbedingungen erreicht. Die drei Staudrucksonden kommunizieren über CAN mit einem Auswertrechner, der die Messwerte mittelt und redundant gegenseitig überwacht. Durch diese Redundanz fallen auch Messwertabweichungen oder Sensordrift auf.

Differenzdruckmessungen nach dem Venturiprinzip

Zur Bestimmung der AGR-Menge gibt es zwei gängige Möglichkeiten am Prüfstand: Zum einen lässt sich die Kohlenstoffbilanz auf Basis der Gasanalyse errechnen oder direkt nach dem Differenzdruckprinzip messen. Die Bestimmung über die Kohlenstoffbilanz ist nicht besonders genau; sie wird dennoch häufig bevorzugt, da diese rückwirkungsfrei auf den Motor ist.

Häufig ist das Ziel der Motorentwickler möglichst viel Abgas zurück in den Zylinder zu

bringen, um die NO_x zu reduzieren. Der Einbau einer Referenzmessung erweist sich als problematisch, da diese die Druckverluste und die Thermodynamik des Abgases ändert, die Messung selbst also die Motorcharakteristik beeinflusst (rückwirkt). Entschließen sich Motorentwickler zur direkten Messung, gilt es diese Rückwirkung möglichst gering zu halten (also kleine Druckverluste).

Ausnahme sind die Motoren, die in Serie ebenfalls einen AGR-Gasmassensensor einsetzen. Dies sind fast ausschließlich Differenzdruckmessungen nach dem Venturiprinzip. Diese Venturis können doppelt angezapft werden, mit dem Serien-Sensor und parallel mit einer optimierten, deutlich genaueren Prüfstands-Sensorik. Damit ist eine rückwirkungsfreie Referenzmessung möglich. Als Referenzmessung kommt das Messsystem deltaflowH zum Einsatz. Das CAN-basierte Messsystem verwendet dasselbe Messsystem, die deltaflowB, jedoch wird die Sensorik motorfern, über Schläuche mit der Venturi verbunden. Damit ist das System temperaturunempfindlich und Kondensate fallen in den Leitungen zur Sensorik bereits aus.

Mit dem Messsystem deltaflowH sind sowohl hochdynamische Messungen für den transienten Betrieb als auch besonders präzise Messungen für den stationären Betrieb möglich, einfach durch das Zuschalten eines Druckspeichers, der ein pneumatisches Dämpfungssystem darstellt.

Das differenzdruckbasierte Messsystem löst viele Anforderungen der Frischluftmessung. Der Einsatz von drei multivariablen Staudrucksonden in einem Messquerschnitt ermöglicht eine hohe Genauigkeit auch bei schlechten Einlaufbedingungen.



Kurbelgehäuse-Entlüftung (Blow-By)

Der Gas-Schlupf der Zylinder und Ventiltführungen in das Kurbelgehäuse ist ein Maß für deren Dichtigkeit und damit für den Verschleiß des Motors oder die Fähigkeit des Serienprozesses nach der Herstellung der Motoren. Blow-By kann höhere Temperaturen aufweisen und enthält neben Luft und Abgas auch Ölnebel, NHC's und andere Verschmutzungen. Diese rauen Anforderungen definieren wiederum die Differenzdruckmessung als geeignetes Verfahren.

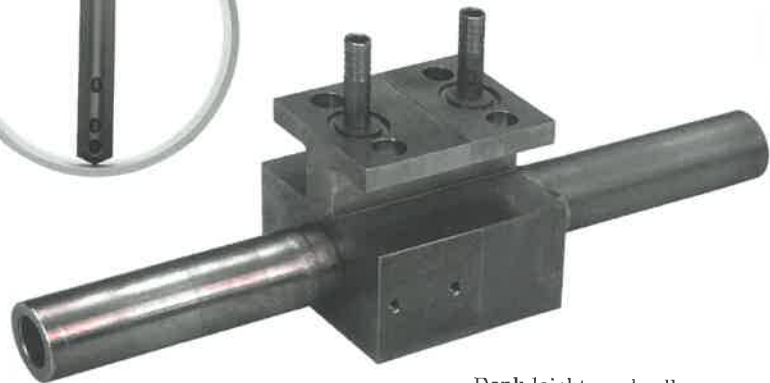
Als Differenzdruckgeber (Primärelement) empfiehlt sich hier eine Blendenbrücke mit leicht wechselbaren Blendenscheiben wie die deltaflow DF8. Durch den Öffnungsdurchmesser der Blendenscheibe kann ein geeigneter Messbereich gewählt werden und damit vom Kleinmotor bis zum Schiffsdiesel jeder Blowby erfasst werden. Als Auswertung eignet sich auch hier wieder das Messsystem deltaflowH mit den präzisen und langzeitstabilen Messungen möglich sind, also die Alterung und der Verschleiß des Motors präzise erfasst werden können.

Druckverlustarme, präzise Abgasmessung

Am Motorprüfstand ist die Messung von Abgasen eigentlich redundant, schließt aber die Bilanz und deckt Leckagen am Motor auf. Leckagen sind deutlich häufiger als vermutet, insbesondere am Motorprüfstand, wo häufig umgebaut und provisorisch verrohrt wird. Besonders schwer zu finden sind Leckagen auf der Saugseite des Motors, da hier kein Abblasen stattfindet, sondern Falschluff angesaugt wird, die weder akustisch noch durch Leckagespray aufzudecken ist. Selbst vermeintlich kleine Leckagen an Schlauchschellen oder undichten Sensoröffnungen bringen schnell 1 bis 2 Prozent Falschluff. Diese Zusatzunsicherheiten findet man mit einer



Die Staudrucksonde ist präzise, resistent gegen Verschmutzungen und bei praktisch jedem Temperaturbereich einsetzbar.



geschlossenen Motorbilanz durch eine Abgasmengenmessung.

Eine druckverlustarme Differenzdruckmessung mittels Staudrucksonden bewährt sich hier an vielen Motorprüfständen. Die deltaflow DF25 ist präzise, resistent gegen Verschmutzungen und bei praktisch jedem Temperaturbereich einsetzbar. Als kalibrierte Messstrecke verfügt die Sonde über ein rückführbares Kalibrierzertifikat und schließt mit Kraftstoff und Luftmenge die Massenbilanz am Motor zuverlässig.

Beratung für die richtige Auswahl

Es gibt eine Vielzahl von Gasmassensensorik-Technologien. Deren richtige Auswahl ist für die Qualität des Prüfstandes essenziell. Durchfluss-Messsysteme unterliegen Drift, die Messwerte werden durch Pulsation, Verschmutzung, Druck und Temperatur beeinflusst. Messverfahren, die sich auf dem Papier gut lesen, performen am Motor unter Umständen miserabel. Gute und objektive Beratung ist deshalb besonders wichtig. ■

Dank leicht wechselbaren Blendenscheiben kann durch den Öffnungsdurchmesser der Blendenscheibe der geeignete Messbereich gewählt werden. Und damit vom Kleinmotor bis zum Schiffsdiesel jeder Blowby erfasst werden.