

Bild: ArchiMeDes

Atome oder Moleküle zu zählen, kann sehr ermüdend sein – für elektronische Zählhilfen ist man dann schon dankbar

... EIN ABGASMESSGERÄT?

Über das Zählen der Atome

Der Held in Person eines Anlagenmechanikers betritt den Heizraum. Mit geschickten Manipulationen bringt er dem alten Kessel wieder Manieren bei. Die dunkle Macht der Schorni-Krieger hatte sich herablassend über den Energietransfer des alten Ölkessels geäußert. Immerhin 12 Prozent an Verlusten würden in die Atmosphäre entlassen, so die Anklage. Das Ergebnis nach dem Einsatz unseres Mechanikers, nennen wir ihn Scotty: Nur noch acht Prozent Abgasverluste!

So oder so ähnlich spielt es sich täglich einige hundert Mal in Deutschland ab. Aber wie stellen erst der Schornsteinfeger und dann anschließend der Kundendienstmonteur in der Person eines Anlagenmechanikers die Wirkungsgrade für einen Heizkessel fest? Und sind die Messergebnisse am Ende vergleichbar? Oder hat der eine Spezialist Birnen und der andere Äpfel gezählt? Für die Beurteilung eines solchen recht komplexen Vorgangs werden, wie selbstverständlich, Messgeräte eingesetzt. Und diesen, meist schwarzen Kisten, schenkt man dann Vertrauen? Genauso gut könnte man doch an Star Wars und Raumschiff Enterprise glauben. Vorweg schon mal: Das Vertrauen in die Messgeräte besteht zu Recht, Star Wars und Enterprise gibt's (noch) nicht!

BASEN SIND BERECHNUNGEN

Aber wie kommen die Abgasmessgeräte zu den Messwerten, die sie dann schlussendlich anzeigen und denen wir glauben? Wie so oft in der Technik, so auch hier, es wird gerechnet. Und dieses Rechnen läuft natürlich mit einer irren Geschwindigkeit. Die Komplexität der Formel zur Beurteilung des Verbrennungsvorgangs spielt also kaum eine Rolle, da die modernen Prozessoren in Megahertztaktung Berechnungen anstellen. Letztlich ist diese Formel aber auch nicht sonderlich kompliziert. Im Beispiel soll der Ansatz für einen Niedertemperatur Ölkessel gezeigt werden. Die Formel zur Berechnung des Abgasverlustes q_A lautet:

$$q_A = t_A - t_L \cdot \left[\frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right]$$

Weitere Formelkürzel:

t_A : Abgas-Temperatur

t_L : Verbrennungsluft-Temperatur

A_2/B : brennstoffspezifische Faktoren (siehe folgende Tabelle)

21: Sauerstoffgehalt der Luft

O_2 : gemessener O_2 -Wert

Mit diesen brennstoffspezifischen Faktoren hat man bei der Ermittlung der Abgasverluste zu tun (Auszug):

Brennstoff	A	B
Heizöl	0,68	0,007
Erdgas	0,66	0,009



DICTIONARY

Auslösen	=	activate
Messgröße	=	indicator, measurand
Schornsteinfeger	=	chimney sweeper
Sensor	=	sensor

Ist also bekannt, um welchen Brennstoff es sich handelt, sind nur noch wenige Größen unbekannt. Im hier betrachteten Beispiel soll ein Ölkessel durchgemessen werden. Die Formel für „ q_A “ weist dann nur noch drei schwarze Flecken auf.

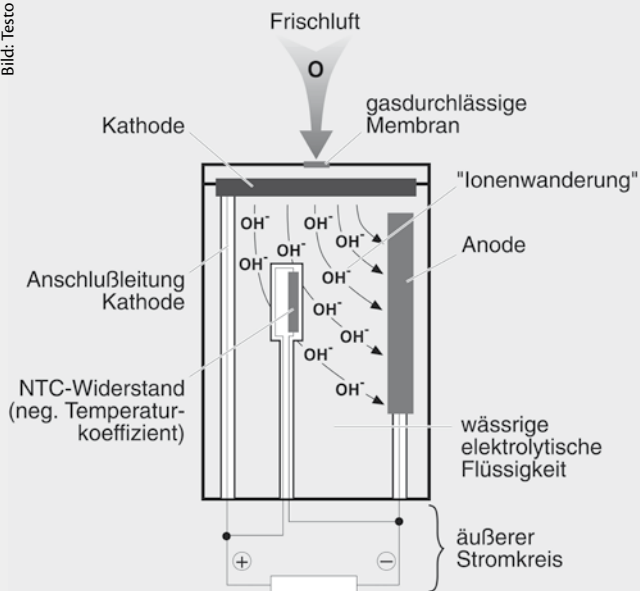
$$q_A = t_A - t_L \cdot \left[\frac{0,68}{(21 - O_2)} + 0,007 \right]$$

Gesucht wird also die **Abgastemperatur**, die **Verbrennungsluft-Temperatur** und der **Sauerstoffgehalt** im Abgas.

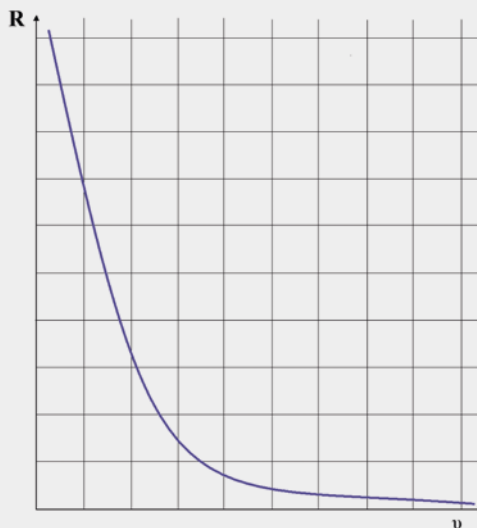
SENSORIK IST GEFRAGT

Es ist letztlich völlig einerlei, wie nun diese restlichen drei Werte ermittelt werden. Fakt ist natürlich: Um diese Werte zu ermitteln, bleibt oft nicht viel Zeit. Der Kessel wird, trotz gedrückter Schornsteinfegertaste, in Kürze seine maximale Temperatur erreicht haben und abschalten. Die schnelle Anzeige ist daher gefragt. Zunächst mal die beiden Temperaturen. Die Nutzung der Ausdehnung von Flüssigkeiten (Fieberthermometer) oder festen Stoffen (Zeigerthermometer) bei steigender Temperatur hat sich als zu träge für moderne Messungen gezeigt. Hier hat sich der Temperatursensor mit einer Messung des elektrischen Widerstands als sinnvoll erwiesen. Dies bedeutet, es wird eine Spannung an einen stromleitenden Sensor angelegt. Dieser Sensor hat, wie jeder Stoff, der nicht gerade ein Supraleiter ist, einen elektrischen Widerstand. Abhängig von der Temperatur ändert sich dieser Widerstand für die meisten Stoffe, so auch in diesem Sensor. Bei einigen erhöht sich der Widerstand mit zunehmender Temperatur. Dies sind dann sogenannte Kaltleiter oder auch PTC-Elemente (positive temperature coefficient, englisch für positiver Temperaturkoeffizient). Andere Stoffe verringern den Widerstand bei zunehmender Temperatur. Diese werden dann als Heißleiter oder auch NTC-Elemente (negative temperature coefficient, englisch für negativer Temperaturkoeffizient) bezeichnet. Diese NTC-Fühler kommen üblicherweise in Abgas-Messgeräten zum Einsatz. Für die zu erledigende Messung der Abgasverluste würde dies bedeuten: Ein NTC-Messfühler registriert im Heizraum einen relativ

Bild: Testo



So funktioniert im Prinzip ein Sauerstoffsensor – rein schematisch betrachtet



Mit steigender Temperatur nimmt der Widerstand eines NTC-Sensors ab. Jedem Widerstandswert kann folglich eine Temperatur zugeordnet werden

hohen elektrischen Widerstand und damit eine relativ niedrige Temperatur von beispielsweise 20°C. Ein zweiter NTC-Fühler, mitten im heißen Abgasstrom, registriert einen relativ geringen elektrischen Widerstand und damit eine relativ hohe Temperatur von beispielsweise 130°C. So weit so gut. Dieses Temperaturmessverfahren verlief zwar von hinten durch die Brust ins Auge, ist jedoch noch leicht nachvollziehbar. Die drei Unbekannten haben sich jedenfalls bis auf eine enttarnt. Die ausgefüllte Formel lautet mittlerweile:

$$q_A = 130 - 20 \cdot \left[\frac{0,68}{(21 - O_2)} + 0,007 \right]$$

Die Sauerstoffkonzentration fehlt als letzte Größe. Die O₂-Moleküle zu zählen und ins Verhältnis zu allen anderen vorhandenen Molekülen zu setzen, wäre recht zeit- und nervenraubend. Es gilt also, Eigenschaften von Sauerstoff nachzuweisen und damit die Anwesenheit von Sauerstoff unterstellen zu können. Nach dem Motto: Von der nagelneuen Kinokartenrolle fehlen einige Tickets, sitzt bestimmt jemand im Kino. Und noch schlimmer und damit genauer: Es fehlen 153 Tickets von der Rolle, also werden 153 Gäste den Film über Abgasmessgeräte sehen (nominiert für drei Oscars ©). Die bloße Anwesenheit von Sauerstoff ist also nicht entscheidend, sondern der Anteil in Volumenprozent. Knifflig, zugegeben, und ohne tiefe Kenntnisse im Bereich der Chemie und der Physik kaum abzufrühstücken. Aber, wie in der Fachwelt bekannt, ist dieses Problem von der Industrie zufriedenstellend gelöst.

ZWEI-ELEKTRODEN-SENSOR

Mithilfe eines Zwei-Elektroden-Sensors kann über diese Messgröße (den Sauerstoffanteil in Volumenprozent eben) verfügt werden. Eine Kathode (kathodos „Weg nach unten“) und eine Anode (anodos „Weg nach oben“) bilden diese zwei Elektroden. An der Kathode liegt der Pluspol einer Spannung an und die Anode stellt den Minuspol zur Verfügung. Diese beiden Pole können über eine elektrisch leitende Flüssigkeit miteinander in Wechselwirkung treten, sind also miteinander verbunden. Diese Flüssigkeit wird wegen ihrer elektrischen Leitfähigkeit als Elektrolyt bezeichnet. Die winzige Messkammer ist damit fast vollständig beschrieben. Von der Außenwelt abgeschirmt ist diese Kammer durch eine gasdurchlässige Membrane. Das Messgas, im hier skizzierten Fall das Abgas, tritt nun durch diese Membrane in den Messraum. Ausgelöst durch die Kathode, kommt es zu einer chemischen Reaktion. Hierbei bilden sich Ionen, also geladene Teilchen. Diese OH⁻-Ionen haben nichts eiliger zu tun, als zur Anode zu wandern. Diese Wanderung bewirkt einen Stromfluss im Stromkreis. Verändert sich nun der Sauerstoffanteil, der durch die Membrane und dann von der Kathode zur Anode wandert, so verändert sich auch die elektrische Spannung. Je höher die Sauerstoffkonzentration ist, umso höher ist der Stromfluss und umgekehrt. Das Messprinzip ist damit beschrieben. In der schematischen Darstellung dieses Sauerstoffsensors ist zusätzlich ein NTC-Widerstand eingezeichnet. Dieser dient nicht, wie man glauben könnte, zur gleichzeitigen Tempera-



Was wäre der Anlagenmechaniker vor Ort ohne den Einsatz moderner Messtechnik?

turmessung. Vielmehr ist dieser Widerstand integriert, um den Temperatureinfluss bei dieser Ionenwanderung herausrechnen zu können. Dies nennt man Kompensation des Temperatureinflusses. Damit kann das Messergebnis bei 80 °C genauso sicher angenommen werden wie bei 180 °C. Die letzte fragliche Größe ist nun abschließend ebenfalls erkannt. Im Beispiel soll der Sauerstoffanteil bei 10,8 Prozent liegen. Die vollständige Formel lautet dann:

$$q_A = 130 - 20 \cdot \left[\frac{0,68}{(21 - 10,8)} + 0,007 \right]$$

$$q_A = 110 \cdot \left[\frac{0,68}{10,2} + 0,007 \right]$$

$$q_A = 110 \cdot [0,6666 + 0,007]$$

$$q_A = 110 \cdot 0,7336$$

$$q_A = 8,1 \approx 8$$

Der Abgasverlust für diese Feuerung kann also mit acht Prozent festgehalten werden. Einem Endkunden wird dieser Wert auch als seriöses Ergebnis präsentiert. Es beweist die Einstellkünste des Kundendienstmonteurs und wird letztlich auch per Zahlung des Rechnungsbetrages honoriert. Bedenkt man jedoch, dass eigentlich nur Spannungen oder Spannungsab-

fälle ermittelt und ausgewertet wurden, zeigt sich deutlich die Abhängigkeit von diesen modernen Sensoren.

SENSORIK IM ALLTAG

Die Sensoren sind vielfältig bezüglich der gestellten Messaufgaben. Sonden im Auto und dort im Abgastrakt, stellen ständig die Mischung zwischen Treibstoff und Sauerstoff ein. Sensoren an Windkraftwerken optimieren fortlaufend die Stellung der riesigen Flügel. Sensoren am Hauseingang schalten bei Annäherung eines späten Besuchers zuverlässig das Licht ein. So gut wie nie ermitteln diese Fühler den Umstand, für den sie eigentlich eingesetzt werden. Fast immer leitet man die zu erfassende Größe nachträglich ab. Und doch haben diese Sensoren eine hohe Genauigkeit und Trefferquote erreicht. Man bedenke nur die Tatsache, dass mit geringen Abweichungen der Schornstein und der Kundendienstler auf die gleichen Messergebnisse stoßen werden. Für die Korrektheit und Vergleichbarkeit der Messungen sind natürlich auch Vereinbarungen über die Erstellung der Messung wichtig. Die in diesem Beispiel zu messende Ölfeuerung ist natürlich im ungestörten Dauerbetriebszustand zu betrachten. Und die Messsonde wird in den Kernstrom des Abgasweges gehalten, also in jenen Bereich mit der höchsten Temperatur. Aber das sind wiederum Angelegenheiten der BImSchV und nicht sensorisch einzuordnen.

Wenn also beim nächsten Messvorgang in Anwesenheit des Kunden der Chef per Handy nachfragt: „Scotty, kriegst du die Kiste noch mal hin?“ Dann könnte die Antwort wahrheitsgemäß lauten: „Ja Chef, habe soeben nach Kalibrierung des Ionentauschers und Einsatz der NTC-Sensorik eine Neueinstellung vorgenommen. Leutnant Uhura kann schon mal die Rechnung tippen...“



FILM ZUM THEMA



Abgasmessgeräte werden bei der Ausführung von Wartungsarbeiten benötigt.

Wie so eine Wartung ablaufen sollte, zeigt ein Kollege hier:

www.sbz-monteur.de → Das Heft → Lehrfilme zum Heft