

# Motormanagement im Griff mit optischem »Mini«-Sensor

**Die Kistler Instrumente AG realisierte mit ETH Zürich und Sensoptic einen optischen Sensor mit miniaturisierter Lichtleitersonde, der in Verbrennungsmotoren Temperatur und Ruß registriert, zyklische Schwankungen der Verbrennung ermittelt. Damit hilft er Ingenieuren in der Entwicklung schadstoffarmer Motoren. Die Volkswagen AG in Hannover wendete die Messtechnik an ihren Verbrennungsmotoren an und unterstützte damit die Weiterentwicklung des optischen Sensors.**



Für die Begrenzung von Schadstoffemissionen in Motoren hat sich die optische Indizierung bewährt. Sie erlaubt, den Verbrennungsprozess mit Video- und Hochgeschwindigkeits-Filmtechnik festzuhalten – eine teure Lösung. Kostengünstiger, aber »minimal-invasiv« und damit tauglich für Motorenprüfstände ist die Detektion von Verbrennungslicht im Motor selbst. Für diesen Weg entschied sich die Kistler Instrumente AG.

## Pionierleistung mit Mehrfarbenpyrometrie

Da die Lichtemissionsmessung in der Motorenforschung relativ jung ist, kontaktierte sie für die Verwirklichung

ihrer Vision das Labor für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme LAV der ETH Zürich. Dieses verfügt über Grundlagenwissen in Verbrennung und optischer Diagnostik, ist somit spezialisiert auf verbrennungsrelevante Optik. Wie ein vom Bundesamt für Energie finanziertes Vorprojekt zeigte, eignet sich die Mehrfarbenpyrometrie für simultane Informationen über Verbrennungsablauf und Schadstoffemissionen. Dabei wird das vom Verbrennungsprozess emittierte Licht detektiert. Durch die Analyse der Lichtemission über mehrere Wellenlängen lässt sich die Temperatur der Rußpartikel und durch die Intensität deren Konzentration bestimmen. Der Leiter des

LAV, Prof. Konstantinos Boulouchos, initiierte zuerst ein Vorhaben, welches die KTI, die Förderagentur für Innovation, mitfinanzierte. Ziel war es, die Grundlage für ein preiswertes, universell einsetzbares Messgerät zu schaffen, das am Verbrennungsmotor Rußmenge, Rußtemperatur und Zündverzug registriert.

Zunächst ging es um das Konzept einer Messkette für die Lichtemissionsmessung, die eine kurbelwinkel aufgelöste Bestimmung von Rußmenge und -temperatur gestattet. Dazu waren schnelle und robuste Messalgorithmen nötig. Die ETH-Forscher stellten die Verbindung zwischen thermodynamischem Prozess, Verbrennungsablauf und Schadstoffemission her.

## Innovative Schritte für technologisches Novum

Ein wesentlicher Technologieschritt gelang Kistler mit der Selbstreinigung der Sondenspitze, also des Fensters. Verfügbare optische Systeme verschmutzen rasch, verunmöglichen schließlich die Detektion von Verbrennungslicht und damit die Berechnung von Temperatur und Rußkonzentration. Entsprechend konzipierte Kistler



Bild: Kistler Instrumente AG

▲ Verstärker mit Filter und Leistungseinheit für das selbstreinigende System



Bild: Kistler Instrumente AG

▲ Optisches Fenster in der Mittelelektrode einer Serienzündkerze

ein Selbstreinigungsverfahren, damit das Verbrennungslicht in jedem Betriebspunkt detektierbar ist. Zur Selbst-

reinigung muss die optische Sensorspitze auf etwa 550 °C erwärmt werden. Ein besonderes Augenmerk galt deshalb der Temperaturbeständigkeit. Bisher führten extreme thermische Belastungen oft zu einer Überbeanspruchung der optischen Sensoren und zu deren Zerstörung. Also gestalteten die Forscher den Sensor klein und robust, damit er Wärmespannungen bis 650 °C unbeschadet übersteht und sich in Glühkerzenadapter oder Serienzündkerzen integrieren lässt.

Die Sensoptic SA in Losone steuerte ihr Wissen in optischer Sensortechno-

logie und Echtzeit-Prozessüberwachung bei, entwickelte zusammen mit Kistler den Sensor, bestehend aus einer optischen, miniaturisierten Lichtleiter-Hochtemperatursonde und der Opto-Elektronik. Die Analyse der Lichtintensität ist eine Pionierleistung: Der optische Sensor erfasst das Verbrennungslicht im Brennraum, beispielsweise das Licht von brennendem Ruß in einem Dieselmotor. Von der Lichtleitersonde wird das Licht in die Opto-Elektronik-Einheit eingekoppelt, aufgeteilt und bei drei definierten Wellenlängen gefiltert, wonach preisgünstige Silizium-Fotodioden die gefilterten Lichtintensitäten in elektrische Spannung umwandeln. Aus zwei von total drei Spannungssignalen sind die Verläufe der Verbrennungstemperatur und der Rußkonzentration kalkulierbar.

**Kostengünstige optische Indizierung**

Das Projektteam testete die Lichtwellenleitersonde auf dem Prüfstand in handelsüblichen Zündkerzen von Ottomotoren und Glühkerzenadaptern von Dieselmotoren. »Wie Messungen zeigen, korreliert der im Abgas gemessene Ruß mit den in den Zylindern ermittelten Rußkonzentrationen«, so Prof. Boulouchos. »Die Daten lassen sich sehr gut reproduzieren und auswerten und dies mit hoher Genauigkeit.« Je nach Einsatzbereich sind die Sensoren - trotz Miniaturformat - mit unterschiedlichen optischen Erfas-



Bild: Kistler Instrumente AG

▲ Optisches Fenster im Glühkerzenadapter



Bild: Kistler Instrumente AG

▲ Optisches Fenster mit selbstreinigendem System



▲ **Höchste Präzision und Konzentration sind nötig für die Endmontage des optoelektronischen Sensor-Moduls und der Lichtleitersonde in den Produktionsräumen der Sensoptic AG. Angesichts der Miniaturisierung ist dies nur unter dem Mikroskop möglich.**

sungswinkeln zwischen  $1^\circ$  und  $140^\circ$  ausgerüstet. Die Messtechnik eröffnet ein breites Anwendungsspektrum. Beispielsweise lässt sich der Drall bei Direkt-Einspritzmotoren messen oder bei Dieselmotoren die Daten zur Berechnung von Verbrennungstemperatur und Rußkonzentration ermitteln. Die Probe aufs Exempel machte die Volkswagen AG in Wolfsburg. Sie setzte die Messtechnik zur Detektion zyklischer Schwankungen im Verbrennungsablauf eines direkt einspritzenden Ottomotors ein. Das System konnte dank hoher Zeitaufösung die zyklischen Schwankungen der Verbrennung tadellos darstellen.

»Wir sehen den Sensor als eine kostengünstige Erweiterung der Prüfstandmesstechnik um die Komponente der optischen Indizierung«, bilanziert Dr. Dieter Karst, Leiter Grundlagen Sensoren bei Kistler. »Sie erlaubt Anwendungen, die sonst nur mit teurer Messtechnik möglich sind.«

Schon denkt man an eine Weiterentwicklung für den serienmäßigen Einbau. Die Datenerfassung in Echtzeit macht es möglich, die in situ Verbrennung in jedem Zylinder in Bezug auf

Temperatur und Rußkonzentration sowie weiterer Kriterien zu beurteilen und Maßnahmen für eine optimierte Verbrennung einzuleiten.

»Integriert ins Motormanagement, kann der Sensor die Verbrennung optimal regeln und anhand der Echtzeit-Messdaten die Rußbildung verringern. Der Sensor könnte sogar zur Verbrauchsminderung verwendet werden und so besonders bei Dieselmotoren einen wesentlichen Umweltbeitrag leisten.« Der AMA Fachverband für Sensorik e.V. nominierte die Entwicklung unter 46 Kandidaten als einen der vier Anwärter auf den internationalen SENSOR Innovationspreis, der auf der SENSOR+TEST Nürnberg (22./24.05.07) verliehen wird.

Autorin:  
Elsbeth Heinzelmann  
Journalistin Technik und Wissenschaft  
Tel.: +41-61/2734345  
E-Mail: minou@magnet.ch

Informationen:  
[www.lav.ethz.ch](http://www.lav.ethz.ch)/  
[www.kistler.com/](http://www.kistler.com/)  
[www.sensoptic.ch](http://www.sensoptic.ch)  
Das Projekt wurde unterstützt durch die KTI,  
die Förderagentur für Innovation:  
[www.kti-cti.ch](http://www.kti-cti.ch)