

# Multisensorik für Mikromerkmale

Messtechnik für Kraftstoffeinspritzdüsen



Werth Messtechnik GmbH  
Siemensstr. 19  
35394 Gießen  
Telefon: +49 641 7938-0  
Telefax: +49 641 7938-719  
E-Mail: [mail@werth.de](mailto:mail@werth.de)  
Internet: [www.werth.de](http://www.werth.de)

Sonderdruck



## MESSTECHNIK FÜR KRAFTSTOFFEINSPRITZDÜSEN

# Multisensorik für Mikromerkmale

Seit über zehn Jahren setzt die Continental AG weltweit Geräte der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, zur Messung von Kraftstoffeinspritzdüsen ein. Die anfangs verwendete Bildverarbeitungssensorik wurde schon bald durch den patentierten Werth Fasertaster und später durch die Computertomografie ergänzt. Dies ermöglicht die hochgenaue Messung von Maß, Form und Rauheit und garantiert die Rückführung der Messergebnisse.

Die Geometrie von Einspritzdüsen für Diesel- und Benzinmotoren ist für die Motorleistung und die Verbrauchsoptimierung von wesentlicher Bedeutung. Insbesondere die Spritzlöcher von Dieseleinspritzdüsen weisen Prüfmerkmale auf, die hohe Anforderungen an die Messtechnik stellen. Durchmesser von minimal ca. 90 µm mit Toleranzen im einstelligen Mikrometerbereich müssen in Tiefen von bis zu einem Millimeter mit Messabweichungen von Bruchteilen von Mikrometern gemessen werden.

Aufgrund der geringen Spritzlochdurchmesser können konventionelle tak-

tile Sensoren bei Messungen an Kraftstoffeinspritzdüsen nicht eingesetzt werden. Erste messtechnische Lösungen nutzten deshalb die berührungslose Bildverarbeitung. Die notwendige Durchlichtbeleuchtung aus dem Inneren der Düse wird hierbei durch Einführen einer Lichtfaser in den Düsenkörper realisiert. Die exakte Bestimmung der Durchmesser ist jedoch nur am Spritzlochaustritt möglich. Der Kantenradius am Spritzlocheingang beeinflusst die Messergebnisse, sodass eine exakte Rückführung hierfür nicht gegeben ist. Die Form des Spritzlochs (Durchmesserlauf) kann mit diesem Verfahren nicht erfasst werden.

Mittlerweile wird die Bildverarbeitung hauptsächlich genutzt, um die Spritzlöcher zu finden, auf Verschmutzung zu prüfen und mit der Drehachse für die Fasertaster-Messung zu positionieren.

### Vollständige Messung mit Fasertaster

Zur taktilen Messung von Mikromerkmalen wurde in einer Kooperation zwischen Werth Messtechnik, Gießen, und der Phy-

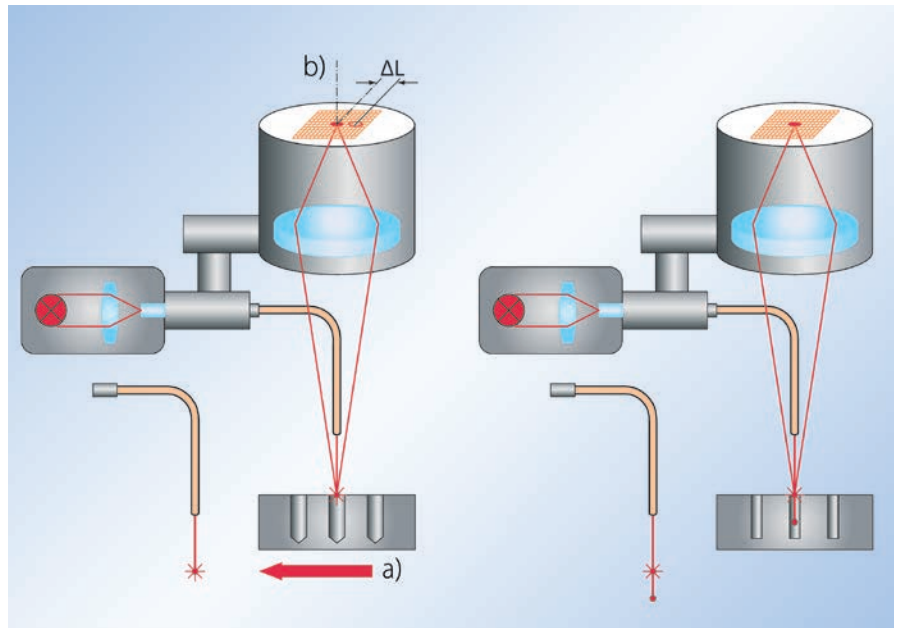
sikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, der taktil-optische Fasertaster WFP (Werth Fiber Probe) entwickelt. Bei diesem Mikrotaster wird die Auslenkung des Antastelements direkt optisch gemessen (Bild 1), sodass die Signalübertragung durch den Tasterschaft entfällt. Damit kann ein dünner Schaft mit nahezu beliebig kleinem Antastelement (in Serie zurzeit bis 20 µm Durchmesser) realisiert werden.

Dieser Aufbau eignet sich für die an Spritzlöchern vorliegenden Messaufgaben. Der Werth Fasertaster gehört entsprechend der Herstellerspezifikation bedingt durch sein Wirkungsprinzip zu den derzeit genauesten Sensoren für Koordinatenmessgeräte. Durch die Elastizität des Tasterschafts ist das System robust und somit werkstatttauglich (Bild 2). Mit dem Fasertaster gelang der damaligen Hydraulik-Ring AG (heute Teil der Continental AG) zusammen mit Werth Messtechnik 1998 erstmals die taktile und somit vollständige Bestimmung der 3D-Spritzlochgeometrie der Continental-Einspritzdüsen mit einer Rückführung auf die nationalen und internationalen Normale.

Die Anpassung an den Höhenwinkel der Spritzlöcher und die Lage der Löcher am Umfang erfolgt durch Positionierung der Düsen relativ zur Sensorik mit Dreh-Schwenk-Achsen. Für diese Ausrichtung muss die Achslage des jeweiligen Spritzlochs bestimmt werden. Bei kombiniertem Einsatz von Fasertaster und Bildverarbeitung in einem Multisensor-Koordinatenmessgerät ist dies optisch sehr schnell und genau möglich.

Bevorzugt wird dieselbe Optik verwendet, die auch zur Bestimmung der Position des Fasertasters eingesetzt wird, so dass die Ausrichtung besonders exakt ist. In diesem Fall wird das Fasermodul automatisch in einer Parkstation abgelegt. Anschließend wird die Einspritzdüse gedreht und über einen Helligkeitsautofokus die senkrechte Lage des zu messenden Einspritzlochs mit der maximalen Bildhelligkeit ermittelt. Dabei folgt der Bildverarbeitungssensor automatisch der Position des Spritzlochauslasses. Der Ausrichtung kommt eine besonders große Bedeutung zu, da bei der Messung weit im Inneren des Spritzlochs Kollisionen des Tasterschafts mit den Wänden auftreten könnten. Die Ausrichtung erfolgt deshalb für jede zu messende Mantellinie gesondert.

Mit einem Einkugeltaster kommt es bei dem tiefen Eintauchen der Tastkugel in das Spritzloch zu Abschattungen (Bild 1, links). Zunächst wurde dieser Ein-



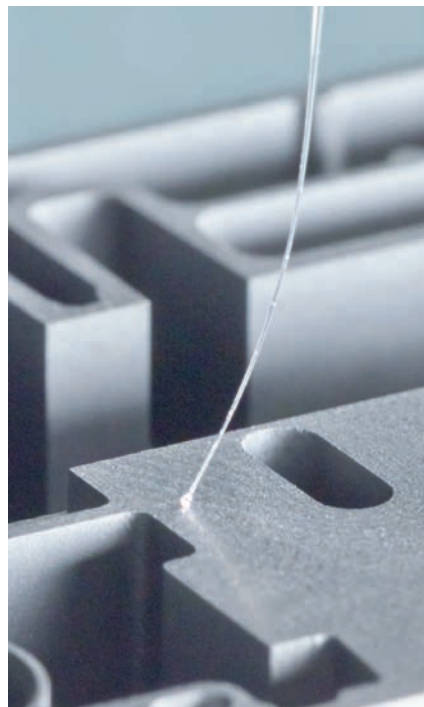
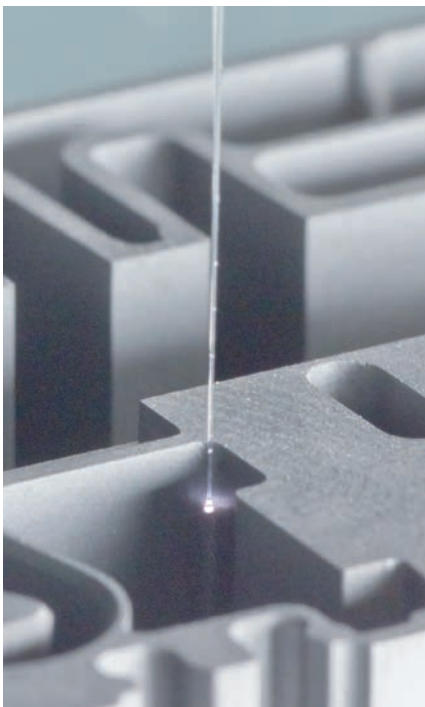
**Bild 1. Funktionsprinzip des Fasertasters: Einkugeltaster (links): Die Bewegung des Messobjekts (a) führt zur Antastung und Auslenkung  $\Delta L$  vom Sensornullpunkt in der Bildebene der Kamera (b). Zweikugeltaster (rechts): Auch beim Antasten in größerer Tiefe erfolgt keine Abschattung der Kugel durch das Objekt.**

fluss durch genaues Einmessen an Bohrungsnormalen kompensiert und damit die Rückführung sichergestellt.

Durch die Weiterentwicklung zum Zweikugeltaster im Jahr 2006 wurde die Verwendung von Bohrungsnormalen überflüssig. Die Auslenkung des Fasertasters wird nun durch Erfassung einer zwei-

ten Kugel bestimmt, die stets oberhalb des Spritzlochs verbleibt (Bild 1, rechts). Hierdurch treten keine Abschattungen mehr auf. Antastvorgang und optische Abbildung des Bildverarbeitungssensors sind entkoppelt, und die Messung wird wie bei konventionellen Tastsystemen direkt rückgeführt. Weitere Entwicklungen wie der Scanning-Fasertaster mit integriertem Piezoschwinger (Patentanmeldung) zur Vermeidung des Stick-Slip-Effekts sorgen für die Anpassung der Technik an die steigenden Anforderungen.

Für eine einfache, werkergerechte Bedienung auch bei stark variierenden Düsenabmessungen wurde ein spezielles WinWerth-Anwenderprogramm mit grafischer Bedienoberfläche eingeführt. Die Düsengeometriedaten werden einer Datenbank entnommen, die auch der Steuerung der Produktion dient. Der Bediener muss nur den Düsentyp auswählen, dann laufen Ausrichtung und Messung automatisch ab. Eine Vielzahl weiterer Funktionen steht zur Verfügung, beispielsweise können Korrekturdaten zugeschaltet, Spritzlöcher, Innenbeleuchtung und Sensorik überprüft und gemessene Konturen in einer 3D-Grafik dargestellt werden. Das einheitliche Parameterprogramm garantiert höchste Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Messergebnisse bei unterschiedlichen Geräten und Standorten weltweit.



**Bild 2. Selbst bei Fehlpositionierungen wird der Taster nicht zerstört: links: Antastvorgang, rechts: Fehlpositionierung.**



Bild 3. Benzineinspritzdüse: Anordnung an einer Dreh-Schwenk-Achse auf dem Multisensor-Koordinatenmessgerät

### Rauheitsmessung an Einspritzdüsen

Zusätzlich zur Ermittlung der Maße wurde 2004 auch die Bestimmung der Rauheit mit dem Fasertaster realisiert. Entsprechend kleine Tastkugeln sind erst durch das taktil-optische Prinzip möglich. In gemeinsamen Versuchen wiesen die Partner im Jahr 2011 die Eignung einer optischen und somit berührungslosen Rauheitsmessung in Spritzlöchern für die Fertigungskontrolle bei Continental nach.

Bei Vergleichsmessungen mit dem hochgenauen interferometrischen Abstandssensor WIP (Werth Interferometer Probe) lag die mittlere Rauheit  $R_a$  innerhalb der Kalibrierunsicherheit  $U$  des Normals. Dieser Sensor, der über eine ebenfalls sehr dünne, drehbare Sonde in die Bohrung eingebracht wird, nutzt den Laufzeitunterschied zweier Lichtstrahlen (Mess- und Referenzstrahl), um die Position des Oberflächenpunkts zu bestimmen.

### Messung von Einspritzdüsen für Benzinmotoren

Seit 2003 werden Einspritzdüsen für Benzinmotoren mit dem Werth Fasertaster gemessen. Bei Continental wurde dieses Verfahren zuerst im Werk in Pisa eingesetzt (Bild 3). Die Messungen werden ebenfalls mit dem Anwenderprogramm für Einspritzdüsen gesteuert. Eine besondere Herausforderung ergibt sich durch die geringe Länge des Spritzlochs. Die Messprozesseignung wird durch die hohe Messgenauigkeit des Fasertasters (Antastabweichung bis  $0,15 \mu\text{m}$ ) in Verbindung mit einem hochgenauen Koordinatenmessgerät Werth VideoCheck HA sichergestellt.

### Düsenmessung mit Röntgencomputertomografie

Im Rahmen eines Forschungsprojekts (2006 bis 2009) wurde von den Teilnehmern die prinzipielle Eignung der Koordinatenmesstechnik mit Computertomografie (CT) für die Messung von Einspritzdüsen nachgewiesen. Der Vorteil

der Tomografie ist die besonders schnelle und vollständige Messung mit hoher Messpunktdichte.

Nach weiteren Entwicklungsarbeiten bei Werth konnte 2013 das TomoScope 200 qualifiziert werden, selbst Spritzloch-Durchmesser mit Toleranzen von  $4 \mu\text{m}$  „fähig“ zu messen. Geringe systematische Messabweichungen im unteren Mikrometerbereich werden durch das Werth-Autokorrekturverfahren bis in den Submikrometerbereich reduziert. Die Rückführung wird so durch eine einmalige Vergleichsmessung an einer Meisterdüse gesichert, die mit dem Fasertaster kalibriert wird.

Die bei diesem Vergleich festgestellten Abweichungen werden zur Korrektur der CT-Serienmessung verwendet. Auch die Bedienung der Koordinatenmessgeräte mit Röntgentomografie erfolgt durch das einheitliche WinWerth-Anwenderprogramm auf der Basis der Produktionsdaten. □

► **Continental Automotive GmbH**  
Dr. rer. nat. **Andreas Lenk**  
T 0511 938-0  
info.automotive@  
continental-corporation.com  
www.conti-online.com

► **Werth Messtechnik GmbH**  
Dr.-Ing. **Ingomar Schmidt**  
T 0641 7938-0  
mail@werth.de  
www.werth.de

### QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:  
[www.qz-online.de/1077117](http://www.qz-online.de/1077117)