

## Krumme Sachen vollautomatisch vermessen

Autos müssen stark, schnell und zuverlässig sein, aber zugleich sparsam, leise und abgasarm. Kernkomponente zur Auflösung dieses Widerspruchs ist die Abgasanlage. Boysen, ein führender deutscher Hersteller, unterzieht seine Krümmer einer vollautomatischen 100 %-Ausgangsprüfung. Realisiert wurde diese Anforderung mit einer auf Micro-Epsilon Lasermesstechnik basierenden flexiblen Messzelle zur vollautomatischen Prüfung von Freiformflächen vom Prüftechnik-Spezialisten Alicona Imaging.

Die wenig beachtete Auspuffanlage gehört heutzutage zu den teuersten Bestandteilen eines Autos. Wie kaum eine andere Komponente beeinflusst sie neben den Schadstoff- und Lärmemissionen die Energie-Effizienz des Motors. Zentraler Bestandteil ist der Krümmer. Früher war das nur ein gebogenes Rohr, heute handelt es sich um ein hochkomplexes Subsystem. Zwischen zwei Flanschen befinden sich in einem Metall-Hohlkörper voller Freiformflächen der Katalysator und die Lambda-Sonde. Und: Nirgendwo sonst sind die Abgase heißer und der Druck höher als im Krümmer. Diese Abgastemperatur ist zwingende Bedingung, damit der Katalysator schnell auf Betriebstemperatur kommt, sprich: volle Reinigungsleistung bringt. Der deutsche Hersteller Boysen beschäftigt sich seit 1921 mit der Abgas-

schalldämpfung. Als Systempartner der Automobilhersteller entwickelt und produziert Boysen komplette Abgassysteme einschließlich Krümmern, Katalysatoren, Dieselpartikelfiltern, Schalldämpfern und Rohren. Zu den Hauptkunden von Boysen zählen die Premium-Automobilhersteller Audi, BMW, DaimlerChrysler, Porsche und VW sowie die Luxusmarken Alpina, Bentley, Bugatti und Rolls-Royce.

Seit 1993 werden in einem Montage-vor-Ort-Werk in Salching komplette Abgasanlagen auftragsbezogen gefertigt und synchron zur BMW-Fahrzeugproduktion direkt ans Band geliefert. Zwischen Auftragsingang und Fertigstellung der Abgasanlage liegt nicht mehr als eine Stunde. Dabei spielt eine zuverlässige 100 %-Endkontrolle eine entscheidende Rolle.

## Zum Thema

### Laser-Triangulation

Die Lasertriangulation funktioniert im Prinzip der Methode zur Landvermessung mittels Theodolith. Ein Laser projiziert auf die zu messende Oberfläche einen Lichtfleck, der von einer Kamera beobachtet wird. Ändert sich der Abstand zwischen Sensor und Oberfläche, ändert sich dadurch auch der Winkel, unter dem die Kamera den Lichtfleck aufnimmt. Durch einfache trigonometrische Berechnung kann damit die Abstandsänderung sehr genau bestimmt werden. Die mögliche Auflösung geht dabei bis hinunter in den Submikrometerbereich.

Verwendet man anstelle eines einzelnen Lichtflecks eine Linie aus unendlich vielen Punkten, so kann das Verfahren auf zwei Dimensionen ausgedehnt werden. Aus dem Abbild der Laserlinie auf der Oberfläche, das durch die Kamera aufgenommen wird, kann ein Höhenprofil entlang der Laserlinie berechnet werden. Wird der Sensor über dem Objekt bewegt, entsteht ein exaktes dreidimensionales Höhenprofil der Oberfläche. Nach dieser Messmethode arbeiten die Laser-Profilsensoren scanCONTROL 2800 von Micro-Epsilon Messtechnik.

### Endkontrolle vollautomatisch

Die an modernen CAD-Arbeitsplätzen entworfenen Komponenten müssen nach der Produktion genauso aussehen wie von der Konstruktion vorgegeben. Bereits kleinste Abweichungen können den Wirkungsgrad erheblich reduzieren, und Abweichungen der Geometrie können die heißen Teile gefährlich nahe an andere Fahrzeugteile bringen.

Angesichts des Kostendrucks im Automobilbau lag der Wunsch nahe, die kritische Endkontrolle zu automatisieren. In der Entwicklungsphase für eine neue Generation von BMW Sechszylinder-Reihenmotoren wurde dieser Wunsch zu einer konkreten Anforderung und Boysen machte sich auf die Suche nach einem Anbieter, der diese Aufgabe komplett lösen kann.

Fündig wurde Boysen bei der Alicona Imaging GmbH in Grambach bei Graz. Das Unternehmen konnte nicht nur in der



#### Technische Daten scanCONTROL 2800

Messbereich z-Achse:	bis zu 245 mm
Messbereich x-Achse:	bis zu 140 mm
Auflösung z-Achse:	bis zu 10 µm
Auflösung x-Achse:	bis zu 1024 Punkte/Profil
Profilfrequenz:	bis zu 4.000 Profile/s
Messrate:	bis 256.000 Messpunkte/s

**1** Auspuffkomponenten sind hochkomplexe mechanische Teile voller Freiformflächen. In einer 100%-Endkontrolle wird die Übereinstimmung mit dem 3D-CAD Modell überprüft.

**2** Der Linienscanner scanCONTROL 2800 vermisst Oberflächenprofile in einem Zug durch Triangulation der Punkte entlang einer Laser-Linie. Bild: Micro-Epsilon

**3** Beispiel für eine Doppelanlage eines Reihen-Sechszylinders im 3D-CAD Modell. Ebenfalls Vorgabe für die Maßhaltigkeit nach der Fertigung des Auspuffs.

(Fotos: Alicona)

eine Vielzahl bereits entwickelter und gelieferter automatischer Prüf- und Testsysteme für elektrische, mechanische, hydraulische, visuelle und akustische Prüfungen verweisen.

optischen Messtechnik sehr gute Referenzen in der High-Speed Inline Kontrolle im Produktionsfluss aufweisen, sondern gemeinsam mit der auf die Fertigungsautomatisierung spezialisierten Konzernschwester M&R Automation GmbH eine vollständige Komplettlösung anbieten. M&R Automation wiederum kann auf

#### Neuer Ansatz für Freiform-Prüfung

Das Anforderungsprofil war rigide: Die komplex geformten Krümmen müssen ohne manuellen Eingriff einer 100 %-Ausgangskon-

↳ Fortsetzung Seite 98



4

trolle unterzogen werden. Zu prüfen ist die Übereinstimmung der gesamten Geometrie des fertigen Bauteils in Relation zum 3D-Modell aus der CAD-Software, mit einer zulässigen Abweichung von 0,1 mm. Das schließt die Ebenheit der Flanschflächen ebenso mit ein wie die Position der Flanschflächen, Befestigungsbohrungen, Engstellen oder der Lambda-Sonde. Für den gesamten Prüfvorgang, der je nach Typ durchschnittlich 10 Einzelmessungen erfordert, steht eine Zykluszeit von ca. 20 Sekunden zur Verfügung.

Da bei diesen Anforderungen eine Messung mit Einzelpunkten nicht zielführend gewesen wäre, wurde eine Messung mit Laserlinien-Technik realisiert. Gemessen wird mit Hilfe eines scanCONTROL 2800-25 Profilsensors von Micro-Epsilon. Dieser projiziert auf das Messobjekt eine Laserlinie, deren Reflexion in einem CCD-Array aufgenommen wird. Daraus wird durch Triangulation die 3D-Form der Laserlinie im Raum ermittelt.

#### Von Lagefehler-Ausgleich zu Lageunabhängigkeit

Teil des Prüfsystems ist die Positionierung des Laserscanners durch einen Messroboter. Da der Roboter dies nur mit endlicher Absolutgenauigkeit durchführen kann, wird durch Abgleich mit einem Referenzteil eine Ausgleichsrechnung durchgeführt, sodass diese Ungenauigkeiten das Messergebnis nicht beeinflussen.

In der mittlerweile ausgelieferten zweiten Anlage für Boysen ging Alicona noch einen Schritt weiter: Mussten in der ersten Anlage die Teile zur Vermessung noch auf einen definierten Auflagepunkt gesetzt werden, so findet die Prüfung hier in weitgehend beliebiger Lage im Raum statt. Möglich wurde das durch einen Messkopf, der nicht einen, sondern gleich vier scanCONTROL 2800 Sensoren ent-



5

hält. Das reduziert nicht nur den Aufwand im Handling, sondern erhöht noch einmal die Ergebnisgenauigkeit, da allfällige Spannfehler nun wegfallen.

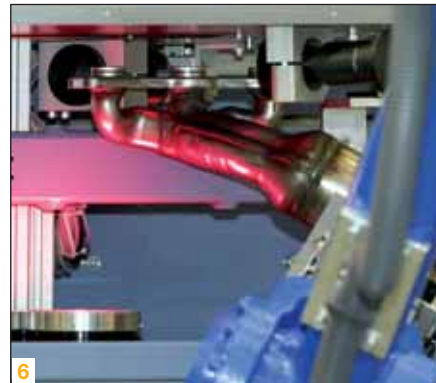
#### Routinen-basierte Softwarelösung

Die softwaretechnische Realisierung der Messaufgabe erfolgte mit Hilfe von universellen Modulbausteinen. So wurde zwar diese Messaufgabe individuell für Boysen realisiert, mit den vorhandenen Modulen können ähnliche Prüfungen aber sehr einfach umgesetzt werden. Dadurch ergibt sich neben der großen Flexibilität auch eine relativ kostengünstige Umsetzung komplexer 3D-Prüfaufgaben. Über ein Interface zum automationX Steuerungssystem werden die Ergebnisdaten weiter gegeben. Datenauswertung, Protokollierung und statistische Aufbereitung werden zentral von diesem System durchgeführt.

#### Umrüstaufwand entfällt

Neben der Erfüllung der eigentlichen Aufgabe, nämlich der vollautomatischen 100%-Kontrolle der fertigen Komponenten, bietet die volloptische Lösung gegenüber traditionelleren Methoden mit Prüflernen den Vorteil, dass jederzeit ohne Umrüstaufwand zwischen unterschiedlichen Modellen umgestellt werden kann. Sowohl das Teile-Handling als auch die Prüfung passt sich softwaregesteuert der jeweiligen Geometrie an. Dies bringt den Vorteil größerer Flexibilität mit sich. Auftragsbezogen können ohne Zeitverlust oder zusätzliche Kosten auch kleinste Stückzahlen mit abweichender Geometrie eingeschoben werden.

Autobesitzer sollen in ihr Fahrzeug einsteigen und sich darauf verlassen können, dass alles funktioniert. Abweichungen der Auspuffgeometrie sind nicht nur ein Ärgernis, sie können auch Auswirkungen auf andere Fahrzeugteile haben und zu länge-



6

4 Zentraler Bestandteil einer Abgasanlage ist der Krümmer. Zwischen zwei Flanschen befinden sich in einem Metall-Hohlkörper voller Freiformflächen der Katalysator und die Lambda-Sonde.

5 Der scanCONTROL 2800-25 Profilsensors von Micro-Epsilon projiziert auf das Messobjekt eine Laserlinie, deren Reflexion in einem CCD-Array aufgenommen wird.

6 Zusatzstation: Mittels zweier Ringleuchten die auf Kameraobjektiven montiert sind und entsprechender Bildverarbeitungssoftware wird das Bohrbild und die Lage des Anschlussstutzens überprüft. (Fotos: Alicona)

ren Werkstattaufenthalten führen. Diesbezügliche Reklamationen kommen bei den mit den Alicona-Anlagen endkontrollierten Teilen nicht vor. Kein Wunder, dass nach Boysen nun auch andere namhafte Auspuffhersteller wissen, wo Grambach liegt.

#### ANWENDER

**Friedrich Boysen GmbH & Co. KG**  
Friedrich-Boysen-Straße 14-17  
D-72213 Altensteig  
Tel. +49-7453-20-0  
[www.boysen-online.de](http://www.boysen-online.de)

#### KONTAKT

**Micro-Epsilon  
Messstechnik GmbH & Co. KG**  
Königbacher Straße 15  
D-94496 Ortenburg  
Tel. +49-8542-168-0  
[www.micro-epsilon.de](http://www.micro-epsilon.de)

#### KONTAKT

**Alicona Imaging GmbH**  
Teslastraße 8  
A-8074 Grambach  
Tel. +43-316-4000700  
[www.alicon.com](http://www.alicon.com)