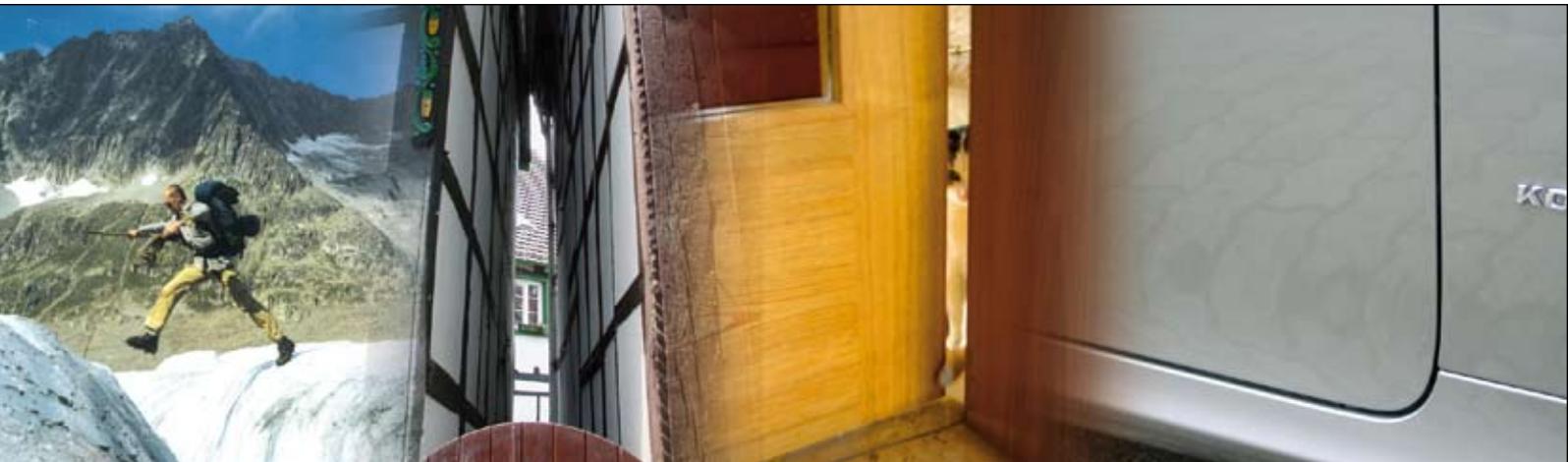


Spalt ist nicht gleich Spalt

... über die Philosophie zur Realität



Leidenschaft, Faszination, Innovation und Qualität: So lauten die Grundwerte, die Mercedes-Benz-Mitarbeiter in den neuen Fahrzeugen ausdrücken. Die Designer sprechen von einer modernen, hochemotionalen Formensprache. Der Werteindruck des Fahrzeugs soll durch präzise, kleinstmögliche Fugenmaße und Radien erhöht werden. Aus dem Blickwinkel der Ingenieure der Mercedes-Benz-Cars betrachtet, spielen bei Fugen und Radien rationale und technische Ansprüche eine Rolle.

Neben dem rein optischen Aspekt qualitätsgerechter Spaltmaße am Fahrzeug, sind Faktoren wie Windgeräusche, Treibstoffverbrauch, Dichtheit und Schließkräfte von wesentlicher Bedeutung für die einwandfreie Funktion von Türen und Klappen und somit des gesamten Fahrzeugs.

Zur eindeutigen Bewertung der Spalte und Übergänge (Versatz der Bauteile zueinander) ist es erforderlich, diese Größen exakt zu definieren. Dabei lohnt es sich, nicht nur technisch, sondern auch philosophisch an das Thema der Spalt- und Übergangsmessung heran zu gehen, schließlich vermittelt das menschliche Auge beim Anblick eines Fahrzeuges den subjektiven Gesamteindruck über das Erscheinungsbild. Hierbei sind bestimmte Kriterien, wie der Einfluss der Fahrzeugfarbe auf die Wahrnehmung der Spalte und Übergänge oder der Ver-

lauf der Kontur- und Designlinien für den einheitlichen Eindruck über das Fahrzeug, sehr wichtig. Immerhin erkennt das Auge unter guten Lichtbedingungen bis zu 1/10 mm Nichtparallelität eines keilförmigen Spaltverlaufes.

Spaltgeometrien und Spaltarten

An einem Fahrzeug gibt es in der Regel fünf unterschiedliche Spaltgeometrien. Jede einzelne davon kann man in vier verschiedene Spaltarten einteilen, betrachten und bewerten (Abb. 1).

Rein geometrisch lässt sich ein „Konstruktiver Spalt“ von einem „Abgelehrten Spalt“ unterscheiden. Geht man vom Erscheinungsbild der Konturen aus, zeigt sich ein „Optischer Spalt“, als Abstand seiner Spiegellinien und der „Visuelle Spalt“, der den vom Betrachter wahrgenommenen Verlauf der Bauteilkonturen beschreibt. Jede dieser vier Arten ist für sich richtig und hat im Entstehungsprozess eines Fahrzeuges ihre Berechtigung. Das beginnt bei der Konstruktion der

Baugruppen, erstreckt sich über die Produktion und endet beim Kunden, der als Nutzer eines qualitativ hochwertigen Automobils nicht nur technisch, sondern auch an der optischen Erscheinung seines Fahrzeuges Freude haben soll.

Spaltmathematik

Es hat sich gezeigt, dass der Unterschied zwischen dem „Visuellen Spalt“ und dem „Konstruktiven Spalt“ von den Radien der sich gegenüberliegenden Spaltkanten abhängig ist. Weichen die Radien voneinander ab, erscheint der Spalt breiter als das bei gleichen Radien der Fall ist.

Ein weiteres optisches Phänomen ist die Abhängigkeit des „Abgelehrten Spaltes“ SL vom Übergang Ü. Dabei bleibt der „Konstruktive Spalt“ Sk (siehe Abb. 2) unbeeinflusst und somit konstant.

Verschiebt man das rechte Spaltufer von der Position Pos.1 zur Position Pos. 2, dann entsteht der Übergang Ü. Das Spaltmaß SL vergrößert sich dabei von

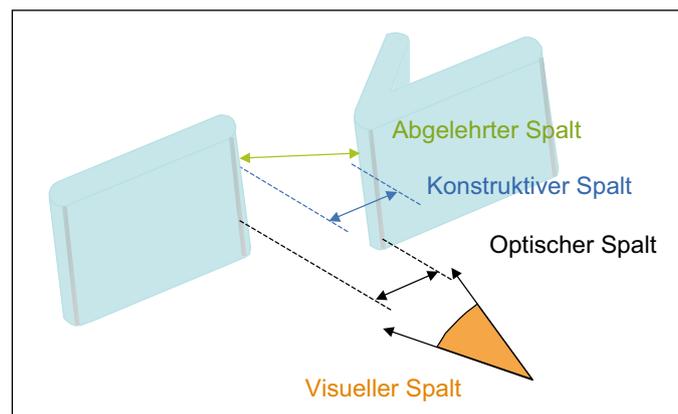


Abb. 1: Betrachtungsarten eines Fahrzeugspaltes

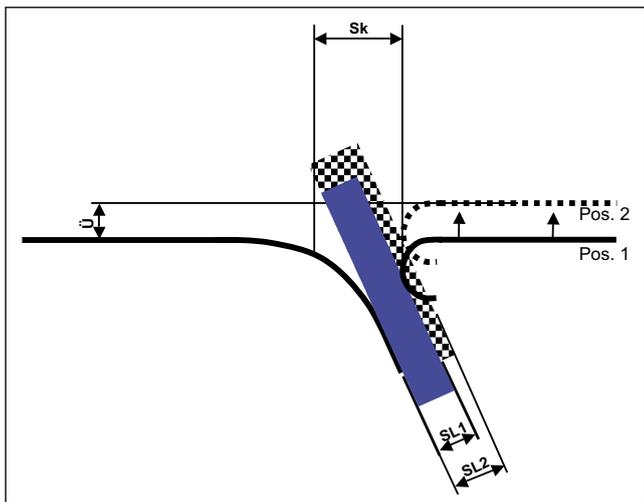


Abb. 2: Abhängigkeit des Abgelehrten Spaltes SL vom Übergang Ü

SL1 auf SL2, das Spaltmaß Sk bleibt jedoch unverändert.

Bei konstanten Spaltradien lässt sich das Verhältnis zwischen den vier Spaltarten mathematisch beschreiben und aufeinander abbilden. Variieren die Spaltradien, müssen sie messtechnisch ermittelt und rechnerisch korrigiert werden. Dabei können alle oben genannten Spaltdefinitionen berücksichtigt und die dafür gültigen Messergebnisse berechnet werden.

Spaltnessung und -auswertung

Die reale Abbildung der Spaltkonturen erreicht man in der Praxis mit Hilfe der Lasertriangulation. Um den Verlauf der Bauteilkanten auch im Hinterschnitt zu erkennen, bietet sich ein Stereosystem an (Abb. 3).

Die Weiterverarbeitung der damit gewonnenen Profilinformaton erfolgt durch das Einpassen geometrischer Elemente, wie Kreis, Radius und Tangente. Stellt man diese danach in einen funktionalen Zusammenhang, lassen sich unterschiedliche Auswertestrategien abbilden, die den oben erwähnten Spalt- und Übergangsdefinitionen in sehr guter Näherung entsprechen. Mit den so gewonnenen Messergebnissen werden entlang des gesamten Herstellungsprozesses unterschiedliche Aufgaben, wie Stellmaßnahmen in der Fertigungslinie, Justagebewegungen beim

Verbau der Klappen oder Kontrollmessungen im Audit, möglich und können darüber hinaus in einem Gesamtzusammenhang betrachtet werden. Die Produktions- und Werkstofftechnik der Mercedes-Benz-Cars entwickelte im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes mit der Mercedes-Benz-Forschung diese Auswertestrategien und setzte sie in mehreren Pilotversuchen erfolgreich um. So entstand ein ganzes Baukastensystem an mathematisch beschriebenen Spalt- und Übergangsprofilen.

Im Folgenden werden einige Lösungsansätze erläutert:

Der „Visuelle Spalt“ ist die Basis der Betrachtung und vermittelt ein gleichmäßiges Erscheinungsbild. Wie oben bereits erwähnt, spiegelt sich hier die Wahrnehmung des Betrachters wider und der Gesamteindruck wird geprägt. Untrennbar davon ist der „Optische Spalt“. Er beschreibt den Abstand der Spiegelpunkte zueinander (Abb. 4). Durch die Spiegellinien an den Zonen der Totalreflexion, entlang der Bauteilkanten. Sie vermitteln dem Betrachter nahezu unabhängig von der Blickrichtung den Spaltverlauf. Die Position der Spaltkanten lässt sich mathematisch sehr gut beschreiben und damit definieren.

Der „Lehrgerechte Spalt“ gibt das Ergebnis des manuellen Ablehrens mit-

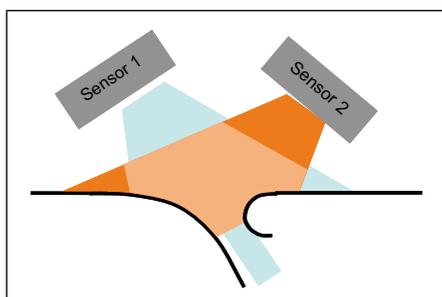
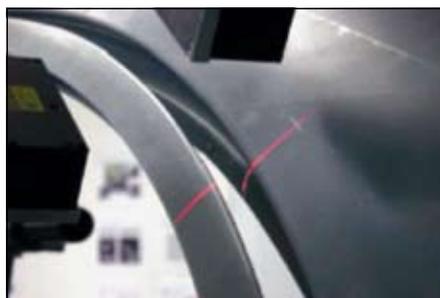


Abb. 3: Stereosystem, Prinzipaufbau (links) und Stereosystem, Lichtschnittsensoren am Türspalt (rechts)



AUF ZU NEUEN HORIZONTEN



Smart Vision Sensor SRV

Das All-in-One Bildverarbeitungsmodul für die Automation

www.schunk.com

AUTOMATICA
HALLE A2 · STAND 103



GREIFMODULE

DREHMODULE

LINEARMODULE

ROBOTERZUBEHÖR

MODULARE MONTAGEAUTOMATION

BILDVERARBEITUNG

tels einer Kunststofflehre (Fühler- oder Konturlehre) wider. Das Ablehren ermöglicht dem Mitarbeiter in der Produktionslinie eine schnelle und robuste Beurteilung des Spalt- und Übergangsmaßes. In unserem Modellansatz wird hierfür die Kontur der Lehre eingelesen und direkt in das reale Profilbild eingepasst (gefittet). Prüfvorschriften für den Werker wurden nachgebildet und strikt umgesetzt. Diese Art der Auswertestrategie stellt die direkte Schnittstelle zum Mitarbeiter in der Fertigung dar. Sie ist damit unmittelbarer

Prüfstein für alle weiteren Auswertestrategien und entscheidet besonders in der Einführungs-Phase dieser Technologie über die Akzeptanz in der Produktion. Man bezeichnet diese Spaltbetrachtung auch als „Virtuelle Lehre“ (Abb. 5).

Der „Konstruktive Spalt“ ist für die Prozessbewertung notwendig. Hierfür wurde eine Auswertestrategie gewählt, die eindeutige, funktionelle Merkmale aus der Funktion der Bauteile beschreiben kann. Der Kontaktpunkt (Abb. 6) stellt hierfür den Bezugspunkt zwischen

sich berührenden Bauteilen her. Die Position dieses Punktes ergibt sich aus der gedachten, parallelen Verschiebung der Falzkante bis zur Berührung der sich gegenüber liegenden Bauteilkanten. Diese Position würde quasi einem „Nullspalt“ bzw. einem „Nullübergang“ entsprechen. Mit der Angabe des „Konstruktiven Spaltes“ lassen sich Korrektur-Maßnahmen im Karosserierohbau durchführen und damit Prozessoptimierungen in einem direkten Bezug zur Abgabequalität beschreiben (Abb. 6).

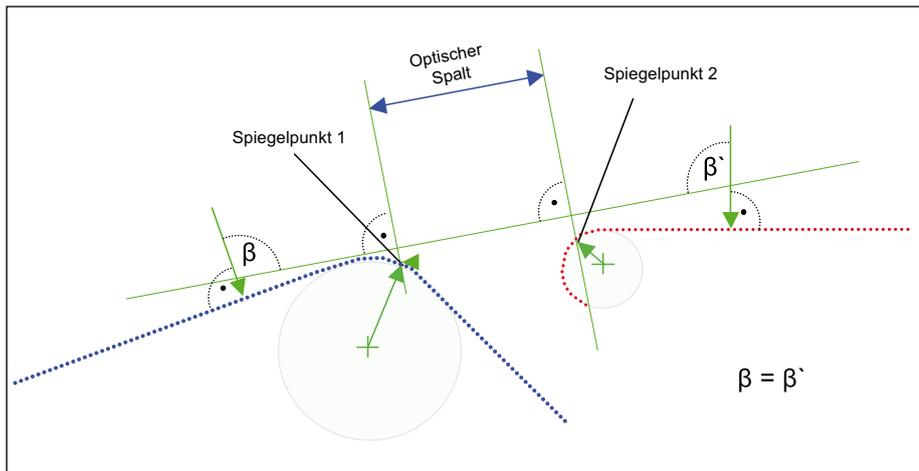


Abb. 4: Definition „Optischer Spalt“, Position der Spiegelpunkte

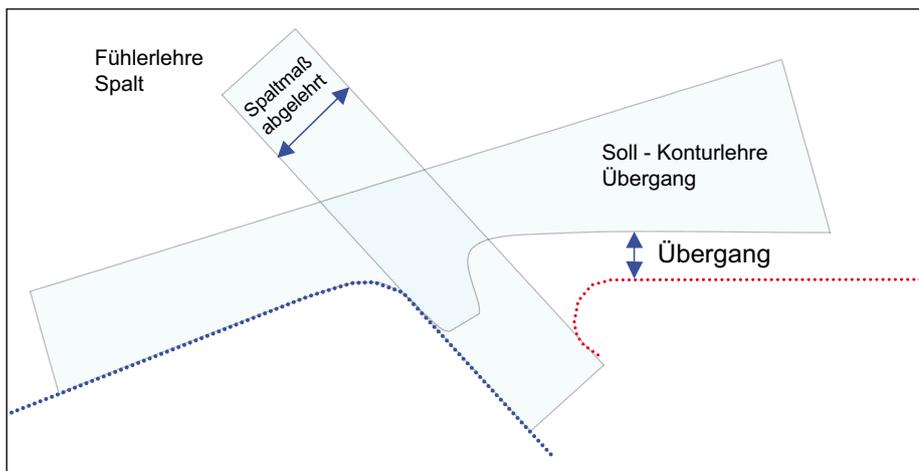


Abb. 5: Lehrgerechter Spalt

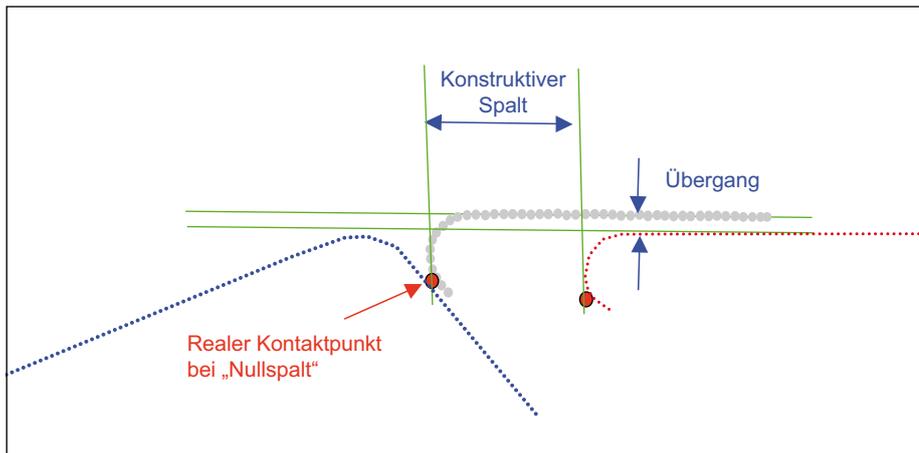


Abb. 6: Konstruktiver Spalt

Best-Fit-Montage

Die erste Anwendung dieser Technologie entstand bei der Best-Fit-Montage der Anbauteile wie Seitentüren, Heckdeckel, Kotflügel und Motorhaube im Rohbau der neuen C-Klasse.

Bei bisherigen automatisierten Anbaulinien haben Sensoren auf stationären Portalen in jeder Station die Karossenposition erfasst und damit die Roboterposition korrigiert. Mit der neuen Herangehensweise bei der Spalt- und Übergangsmessung gelingt eine echte Relativmessung zwischen Bauteil und Umgebung an ausgewählten qualitätsbestimmenden Positionen. Die Sensorik ist hierzu direkt auf das Greifwerkzeug montiert und misst auf kurzem Abstand.

Die über eine spezielle Schnittstelle realisierte schnelle Kommunikation des Messsystems mit dem Roboter erlaubt die sensorgeführte Regelung der Roboterposition in kürzester Zeit. Toleranzen der Bauteile können bestmöglich ausgeglichen bzw. vermittelt werden. Anbauteile werden so in optimaler Position montiert. Insgesamt ist die Fehlerkette bzw. Toleranzkette zwischen Anbauteil und Karosse damit wesentlich minimiert. Einzelne Fugen können bei diesem Verfahren über eine geeignete Gewichtung priorisiert werden. Temperatur- und Verschleißeinfluss auf die Roboterposition wirken sich nicht mehr auf die genaue Bauteilpositionierung aus (Abb. 7).

Unmittelbar nach der Montage wird die eingesetzte Sensorik darüber hinaus genutzt, die erreichten Spalt- und Übergangsmaße zu erfassen und zur Überwachung in Qualitätsregelkreise einzubringen. Aufwändige Messanlagen können eingespart werden, das Montageverfahren bringt die Qualitätsmessung implizit mit.

Schnell zum Qualitätsstandard

Mit der sensorgestützten, spalt- und übergangsorientierten Montage liefert das Best-Fit-Verfahren einen wichtigen Beitrag, die gestiegenen Anforderungen

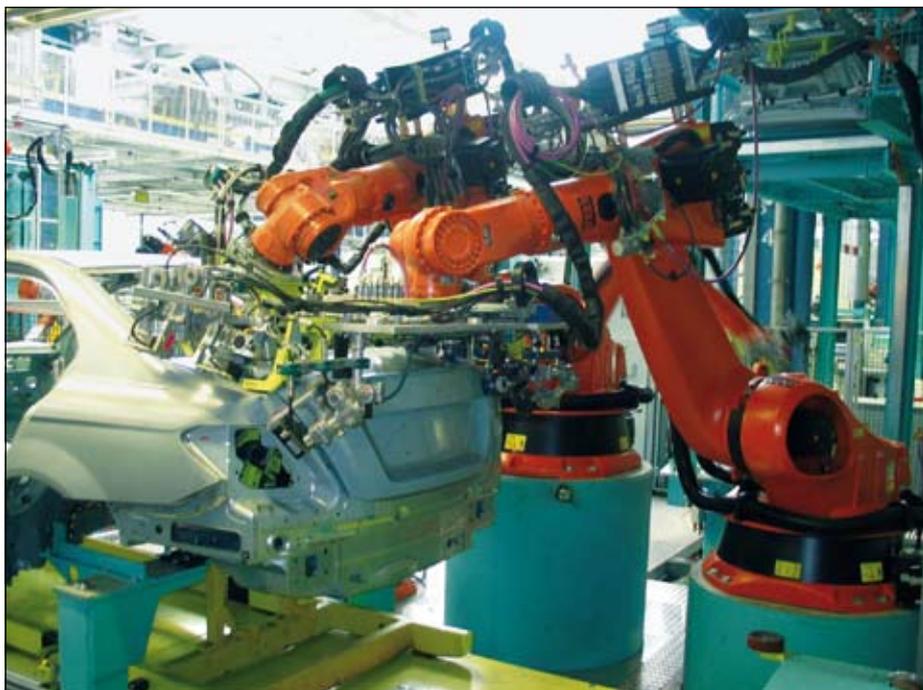


Abb. 7: Automatisierte Montage des Heckdeckels im Rohbau der neuen C-Klasse

an die Maßhaltigkeit der Karosserie zu erfüllen und damit dem stetig steigenden Anspruch an die Qualität der Karosserienaußenhaut bei Fahrzeugen der Premiumklasse gerecht zu werden.

Der wesentliche wirtschaftliche Nutzen liegt im reduzierten Aufwand an manueller Einstellarbeit. Insbesondere im schnellen Hochlauf der Produktion kann durch die unmittelbare Verfügbarkeit der Messdaten sehr schnell der gesetzte Qualitätsstandard erreicht werden. Es gelang damit erstmals im Rohbau einer Großserie, den Aufwand zur Anbauteilmontage deutlich zu reduzieren.

Um diese neu entwickelte Technik schnell und mit dem erforderlichen Aftersales-Service in der Serienproduktion einsetzen zu können, suchte die Daimler AG nach einem Partner, mit dem sowohl die ersten seriennahen Praxisversuche wie auch die abschließende Umsetzung in eine serienreife Technik und industrietaugliche Installationen zuverlässig möglich sein sollte. Nach sorgfältiger Prüfung fiel die Entscheidung auf die VMT Bildverarbeitungssysteme GmbH. Dabei wurde Wert darauf gelegt, dass die Pflege und Wartung der Produktionssysteme und eine praxisorientierte Weiterentwicklung langfristig gesichert sind. Neben der jahrelangen Erfahrung bei der Konzeption und Realisierung von Systemen zur Roboterführung in der gesamten Automobilindustrie ist bei diesem Partner auch das Potenzial vorhanden, die erforderlichen Anpassungen und Weiterentwicklungen durchzuführen. So wurden von VMT neben der Installation und Inbetriebnahme der Systeme inzwischen Softwarepakete

für eine Inline-Messung und Visualisierung der Einbauqualität in das System integriert.

Zukunftsweisende Technik in bewährter Partnerschaft

VMT war Partner bei der Realisierung der Umfänge für die Produktionslinie „Neue C-Klasse“ an drei Standorten. Mit dem weltweiten Aufbau dieser Produktionssysteme wurde das innovative Systemkonzept erstmals im Rohbau erfolgreich installiert. Die bisherigen positiven Erfahrungen in der Großserie haben dazu geführt, dass auch die weitere im Aufbau befindliche Baureihe bei der Daimler AG mit dieser Technik ausgestattet wird und VMT auch hier wieder der bewährte Partner ist.

► Autoren

Roland Beyer,
Leiter Entwicklung Sensorsystemtechnik
Dr. Frauke Becker,
Produktions- und Werkstofftechnik
Bernd Schuler,
Produktions- und Werkstofftechnik
Harald Mikeska,
Key Account Manager, VMT GmbH
Klaus Lehmann,
Leiter Entwicklung, VMT GmbH

► Kontakt

Daimler AG, Mercedes-Benz Werk Sindelfingen
Produktions- und Werkstofftechnik
Automatisierungstechnologie und Simulation
Tel.: 07031/90-5522
roland.beyer@daimler.com
www.daimler.com

our vision is your future.

Bildkontrolle 3D-Messtechnik

Positionserkennung Vollständigkeitskontrolle

Druckbildkontrolle Gewindeprüfung Musterererkennung

Vollständigkeitskontrolle Anwesenheitskontrolle

Mustererkennung Objektidentifikation

Druckbildkontrolle Anwesenheitskontrolle

Objektidentifikation Objektverfolgung

Oberflächeninspektion Geometrisches Vermessen

Objektverfolgung Positionserkennung

Geometrisches Vermessen Gewindeprüfung

Objektverfolgung Positionserkennung

Geometrisches Vermessen

Positionserkennung Vollständigkeitskontrolle

Gewindeprüfung Musterererkennung

Vollständigkeitskontrolle Anwesenheitskontrolle

Druckbildkontrolle Musterererkennung

Anwesenheitskontrolle Druckbildkontrolle

Objektverfolgung Positionserkennung

Geometrisches Vermessen Gewindeprüfung

Positionserkennung Vollständigkeitskontrolle

Druckbildkontrolle Musterererkennung

Anwesenheitskontrolle Druckbildkontrolle

Objektidentifikation Objektverfolgung

Druckbildkontrolle Geometrisches Vermessen

SysCon

SysCon
Gesellschaft für
Systemlösungen der
Automatisierung und
Qualitätssicherung mbH
Bahnhofstraße 8
D-67105 Schifferstadt
Telefon 0 62 35/50 90
www.syscon-vision.de