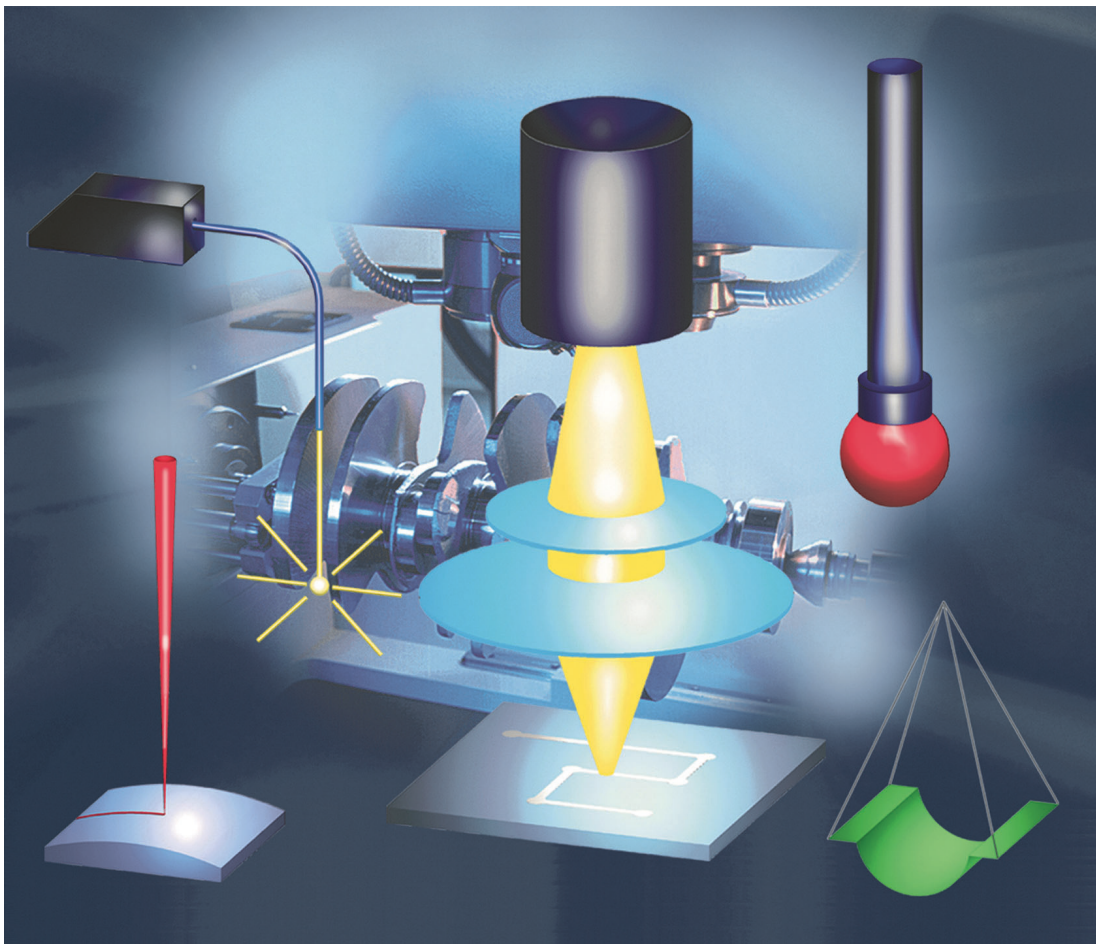


QUALITY ENGINEERING

Sonderdruck



Siemensstraße 19
35394 Gießen
Telefon +49-(0) 6 41-79 38-0
Telefax +49-(0) 6 41-7 51 01
E-Mail: mail@werthmesstechnik.de
Internet: www.werthmesstechnik.de

Werth Messtechnik GmbH



Multisensorik an Koordinatenmessgeräten

Flexible Koordinatenmesstechnik ist ein Gebot der Stunde. Eine Vielzahl von verschiedenen Sensoren für unterschiedliche Anwendungsbereiche können sich zur Lösung der Messaufgaben ideal ergänzen. Generell werden die Sensoren in berührungslose (optische) und berührende (taktile) eingeteilt. Bei der Auswahl der Sensorik müssen die Eigenschaften der Messobjekte berücksichtigt werden, wie z.B. ihre Berührungsempfindlichkeit, die Größe und die Zugänglichkeit der zu messenden Merkmale, die Anzahl der geforderten Messpunkte sowie die Toleranzen der Merkmale.

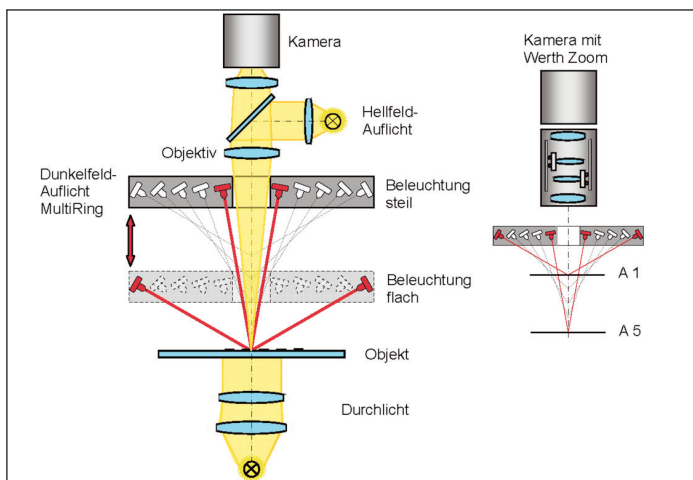


Abb. 1: Beleuchtungsarten, rechte Abb.: Dunkelfeld-Auflicht MultiRing in Kombination mit Werth-Zoom; A1: flacher Lichtfall, geringer Arbeitsabstand; A5: steiler Lichtfall

Wegen der Komplexität vieler Messaufgaben ist es häufig notwendig, mehrere Sensoren am gleichen Messobjekt einzusetzen. Dieser Beitrag soll helfen, die richtige Auswahl zu treffen.

Bildverarbeitungssensor

Wegen vieler positiver Eigenschaften kommt dem Bildverarbeitungssensor eine herausragende Stellung zu. Das Messobjekt wird durch das Objektiv auf eine Matrixkamera abgebildet. Die Kameraelektronik wandelt die optischen Signale in ein digitales Bild um, das zur Berechnung der Messpunkte in einem Auswerterechner mit Bildverarbeitungssoftware herangezogen wird. Die besten Ergebnisse bezüglich Messunsicherheit lassen sich mit telezentrischen Objektiven fester Vergrößerung von ca. 5 bis 20 fach erreichen. Sie sollten bei Merkmalen mit nur wenigen Mikrometern Toleranz verwendet werden. Aus anwendungstechnischer Sicht ist es aber sinnvoll, hohe und

niedrige Vergrößerungen miteinander zu kombinieren. Es sollen z. B. weniger genau tolerierte Merkmale möglichst schnell in einem Bild gemessen oder die zu messenden Objekte bei grober Positionierung auf dem Messgerät noch gefunden werden. Gleichzeitig sollen aber eng tolerierte Merkmale in kleineren Bildfeldern hochgenau gemessen werden. Die optimale Lösung für flexible Messaufgaben ist deshalb ein Zoomstrahlengang mit Vergrößerungen zwischen 0,5 und 5 fach. Die von Werth entwickelte Zoomoptik ist in der Lage, zusätzlich zur Vergrößerung auch den Arbeitsabstand zwischen Objektiv und Messobjekt „CNC-fähig“ im Bereich zwischen 20 mm und 250 mm der Messaufgabe anzupassen. Ein Vorteil des sehr großen Arbeitsabstands ist die Möglichkeit, in große Teile tief hinein zu messen, z.B. Sackbohrungen mit großer Tiefe aber auch Drehteile mit großem Durchmesser. Ein weiterer Vorteil des flexiblen Arbeitsabstands ergibt sich aus der Kombination mit dem Werth-Multiring. Durch mehrere LED-Ringe, die das Messobjekt in verschiedenen Winkeln beleuchten, können Objektkanten wesentlich kontrastreicher abgebildet und somit prozesssicherer gemessen werden. Ergänzt wird diese Beleuchtung durch das Hellfeldauflicht, das durch das Objektiv senkrecht auf das Messobjekt fällt, so dass alle Beleuchtungswinkel zwischen sehr flach und 90° zur optischen Achse zur Verfügung stehen.

Zwei weitere Ergänzungen des Bildverarbeitungssensors sind die Funktionen Werth – „HiCam“ sowie Lichtregelung. Die „HiCam“ – eine Spezialkamera in Verbindung mit einer speziellen Bildverarbeitungselektronik – wird bei Messobjekten mit schwacher Reflexion wie z.B. schwarzen Kunststoffteilen eingesetzt. Hierbei wird z.B. bei Beleuchtung aus einer ganz bestimmten Richtung ein dunkles Kamerabild so stark aufgehellt, dass ein optimaler Kontrast sichtbar und messbar wird. Um eine optimale Prozesssicherheit zu gewährleisten, kann die Lichtregelung zum Messen verschiedenfarbiger Messobjekte oder zum Messen von Messobjekten mit unterschiedlichen Oberflächen (matt bis glänzend) genutzt werden.

Drehschwengelenk

Mit einem Drehschwengelenk kann der Bildverarbeitungssensor in alle Raumrichtungen gedreht werden. Ausgestattet mit einem Festobjektiv und Hellfeld- und Dunkel-feldbeleuchtung mit zwei Ringen und je vier Quadranten stehen diesem Sensor sämtliche Möglichkeiten des oben beschriebenen Standardbildverarbeitungssensors zur Verfügung. Ergänzt werden kann dieser Sensor durch den weiter unten beschriebenen Werth Fasertaster. Der Bediener hat die Wahl, entweder das

AUTOR

Bernd Weidemeyer
Werth Messtechnik GmbH, Gießen

Messobjekt auf einer Dreh- oder Dreh-schwenkachse zu bewegen und mit dem fest in Z-Richtung angebrachten Bildverarbeitungssensor zu messen oder den Bildverarbeitungssensor um das feststehende Messobjekt herum zu drehen und zu schwenken.

Beleuchtung

Basis für jede optische Messung mit Bildverarbeitung bildet das möglichst kontraststarke Darstellen der zu messenden Geometriemerkmale. Am einfachsten ist dies für Merkmale zu realisieren, die sich an den Außenkanten der Messobjekte befinden. Hier kann mit Durchlicht gearbeitet werden. Ideale Verhältnisse erreicht man hierbei für flache Messobjekte. Bei räumlich ausgedehnten Kanten ist jedoch die Wechselwirkung zwischen Beleuchtung, Messobjekt und Abbildungsstrahlengang zu beachten.

Die Aperturen der entsprechenden Systeme müssen aufeinander abgestimmt sein und die Bildverarbeitungssoftware Möglichkeiten zur ausreichend guten Kalibrierung der Struktur-Algorithmen bieten. Für spezielle Anwendungen, wie das Messen rotations-symmetrischer Teile (z. B. liegende Zylinder) kommen, um Messfehler zu minimieren, zusätzlich in der Apertur verstellbare Durchlichteinheiten zum Einsatz.

Neben der Durchlichtbeleuchtung ist meist auch eine Auflichtbeleuchtung erforderlich. Hierbei sind zwei prinzipielle Arten zu unterscheiden:

Das *Hellfeldauflicht* wird parallel zur Achse des optischen Abbildungsstrahlengangs auf das Messobjekt projiziert. Im idealen Fall erfolgt dies direkt durch die Linsensysteme der Abbildungsoptik. Diese Beleuchtungsart erzielt z. B. auf metallischen Oberflächen einen direkten Reflex. Das Messobjekt wird hell dargestellt. Geneigte Oberflächen reflektieren das Licht am Objektiv vorbei und werden somit dunkel.

Das *Dunkelfeldauflicht* wird unter einem schrägen Winkel zum Beleuchtungsstrahlengang auf das Messobjekt aufgebracht. Meist werden hierfür die oben beschriebenen ringförmigen Anordnungen eingesetzt. Durch Kombination mit einer Zoomoptik mit veränderlichem Arbeitsabstand ist es möglich, ebenfalls den Winkel zur optischen Achse in weitem Maße zu verändern. Siehe Abb. 1.

Bei modernen Multisensor-Koordinatenmessgeräten sind alle Lichtquellen über die Messsoftware des Geräts automatisch steuerbar. Die Intensität kann anhand des wirklich vom Objekt reflektierten Lichtes geregelt und somit auch der praxisgerechte Einsatz bei wechselnden Materialoberflächen sicher gestellt werden. Eine rechnerische Korrektur der Lampenkennlinien gestattet das Weiterverwenden der CNC-Programme auch nach einem notwendigen Lampen-

wechsel oder die Verwendung gleicher Programme auf verschiedenen Geräten.

Abstandssensoren

Mit den beschriebenen Bildverarbeitungssensoren können nur Messungen in der Ebene durchgeführt werden. Um eine dreidimensionale Messung von Werkstücken mit optischen Sensoren auszuführen, benötigt man zusätzliche Verfahren zum Messen in der dritten Koordinate. Die hierfür verwendeten Abstandssensoren werden nachfolgend beschrieben.

Autofokus

Für den Autofokus werden die gleichen Hardware-Komponenten eingesetzt wie für die Bildverarbeitung. Beim Verstellen des optischen Sensors entlang der optischen Achse wird nur in einer Ebene eine scharfe Abbildung erzeugt. Wird der Sensor in Richtung seiner optischen Achse in einem Bereich bewegt, innerhalb dessen die wirkliche Objektebene liegt, erreicht der Kontrastwert in der Position der Objektebene ein Maximum. Durch Zuordnen der in dieser Achse gemessenen Sensorposition lässt sich so der geometrische Ort des Oberflächenpunkts bestimmen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens hängt primär von der Schärfentiefe des verwendeten Objektivs ab. Je geringer die Schärfentiefe ist, desto genauer ist die mit dem Autofokus realisierte Messung.

Laserpunktsensoren

Schneller als diese Autofokussmessungen sind Lasersensoren. Der klassische Triangulationslaser erreicht jedoch nur relativ große Messunsicherheiten von einigen 10 Mikrometern. Bessere Ergebnisse lassen sich mit Lasersensoren nach dem Foucaultprinzip erzielen. Bei diesem Prinzip wird der Öffnungswinkel der Abbildungsoptik des Sensors (Aperturwinkel) als Triangulationswinkel genutzt. Es wird hier nicht einfach ein Laserspot auf das Objekt abgebildet, sondern eine im Strahlengang befindliche sogenannte Foucault'sche Schneide. Deren Position wird optoelektronisch gemessen. Die ermittelten Messwerte des Lasersensors werden zum Nachregeln in der entsprechenden Achse des Koordinatenmessgeräts genutzt. Das Messergebnis ergibt sich aus der Überlagerung des Messwerts des Lasersensors und des Messwerts des Koordinatenmessgeräts. Mit diesem Sensor ist eine gute Messunsicherheit, angepasst an hochgenaue Koordinatenmessgeräte, erreichbar. Im praktischen Einsatz wird ein solcher Sensor vorzugsweise in den Strahlengang eines Bildverarbeitungssensors integriert. Es kann

somit zwischen beiden Sensoren ohne mechanische Bewegungen umgeschaltet werden. Gleichzeitig kann man die Laserantastung visuell gut beobachten.

Neben der schnellen Abstandsmessung ist eine weitere Anwendung des Foucaultlasers das Scannen von Konturen mit sehr kleinen Geometrien (Spotgröße 1 bis 10 Mikrometer). Hierbei wird in der Werth-Messsoftware die Scangeschwindigkeit nach der Steigung der Kontur und des Reflexionsverhaltens der Oberfläche geregelt. Außerdem kann der Laser auf verschiedene Materialien eingestellt werden, so dass er sowohl auf schwach reflektierendem Gummi als auch auf stark reflektierenden Metalloberflächen optimale Messergebnisse erzielt. Eine weitere Alternative zum Foucaultlaser ist der „Chromatic Focus Probe“ (CFP). Er wird bei spiegelnden Oberflächen, wie z.B. Glaslinsen oder Spiegelflächen, die nicht berührt werden dürfen, eingesetzt.

Ist die zu messende Oberfläche aufgrund ihres Reflexionsverhaltens nicht sicher mit einem optischen Abstandssensor messbar, so kann zusätzlich der Werth „Contour Probe“ eingesetzt werden. Dieser besteht aus einer Tastschnittnadel, auf deren Rückseite der Foucaultlaser auftrifft und somit das Messsystem darstellt. Somit ist die Messung von der Oberfläche unabhängig und nur begrenzt durch die Steigung der Kontur, die den Kegelwinkel der Tastschnittnadel nicht übersteigen darf. Die Konturen können im Gegensatz zu klassischen Tastschnittgeräten im Werkstückkoordinatensystem exakt an der geforderten Position reproduzierbar gemessen werden.

Mehrdimensionale Abstandssensoren

Mehrdimensionale Abstandssensoren basieren auf ähnlichen Wirkprinzipien wie die oben beschriebenen eindimensionalen Abstandssensoren.

Beim *Laserlichtschnittverfahren* wird das klassische Lasertriangulationsverfahren auf eine zweidimensionale Messung erweitert, indem der Laserstrahl mit Hilfe von Objektiven in einer Richtung aufgeweitet wird. Die Auswertung erfolgt dann durch eine Matrixkamera, so dass man für viele Punkte ein durch Triangulation ermitteltes Messergebnis erhält. Dadurch wird ein Schnitt (Lichtschnitt) auf der Oberfläche des Messobjektes gemessen. Zum Messen einer dreidimensionalen Oberfläche erfolgt zusätzlich die Bewegung des Koordinatenmessgeräts senkrecht zur Schnittebene.

Weiterhin ist der Werth „Laser Line Probe“ dreh- und schwenkbar, so dass die Messobjekte rundherum gemessen werden können. Lediglich sehr tief gelegene Bereiche können wegen der Abschattung nicht gemessen werden.



Abb.2: Werth TomoScope – Multi-sensor-Koordinatenmessgerät mit Computer-Tomografie

Röntgen-Computertomografie

Eine Komplettmessung von Messobjekten inklusive Hinterschnitten und Innengeometrien ist seit einiger Zeit mit dem CT-Sensor (Computertomografie) möglich. Dieser in der Koordinatenmesstechnik relativ junge Sensor wird nicht nur zur Inspektion von Fehlstellen eingesetzt, sondern auch zum Messen von Maßen. Komplette Erstbemusterungen mit mehreren hundert Maßen sind in weniger als einer Stunde möglich, wozu man mit konventionellen Sensoren viele Tage benötigt. Eine besondere Dimension erlangt die Multisensorik dadurch, dass die mit dem CT-Sensor aufgenommenen Messpunkte durch

einen weiteren Sensor, z.B. einen Taster, korrigiert werden können. Dadurch ist es möglich, mit dem Werth „TomoScope“ Messobjekte mit einer rückführbaren Messunsicherheit von wenigen Mikrometern zu messen. Siehe Abb. 2.

Taktile Sensoren

Das Grundprinzip aller taktilen Sensoren basiert auf der mechanischen Berührung des Sensors mit dem Messobjekt. Geometrieelemente werden punktwise angetastet, z. B. ein Zylinder in vier Messebenen mit acht Punkten pro Messebene, also mit 32 Messpunkten. Im Gegensatz zum Bildverarbeitungs-

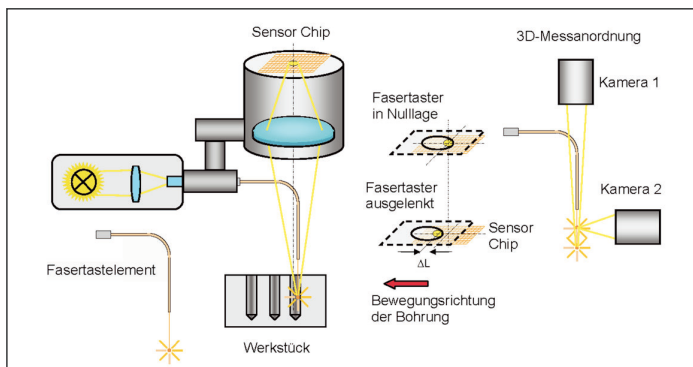


Abb.3: Funktionsprinzip des Werth Fasertasters

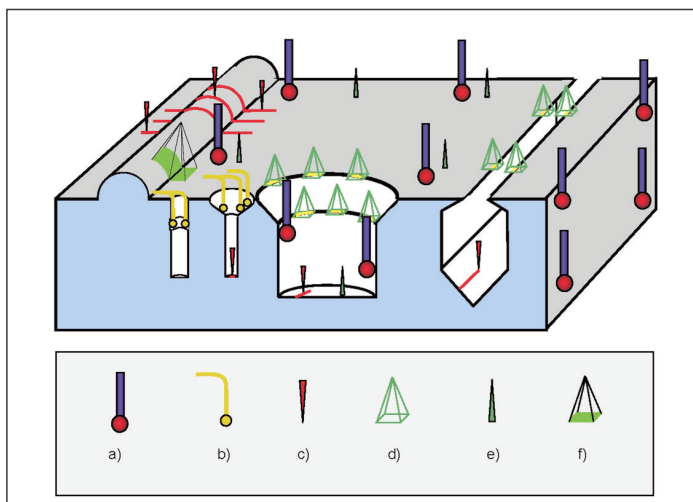


Abb.4: Multisensorik: typische Einsatzfälle unterschiedlicher Sensoren

- a) Mechanischer Taster
- b) Werth Fasertaster
- c) Laser
- d) Bildverarbeitung
- e) Autofokus
- f) 3D-Patch

Der taktile Sensor, der Kanten misst, werden taktil Flächen gemessen. Daraus ergeben sich die Anwendungsbereiche bei den 3D-Elementen wie Zylinder, Kugel und Kegel sowie bei dreidimensionalen Lageabweichungen, wie z.B. Rechtwinkligkeit und Planlauf. Mit mehreren, gleichzeitig eingesetzten Tastern bzw. mit einem Drehschwengelenk können Merkmale gemessen werden, die für den Bildverarbeitungssensor nicht zu „sehen“ sind, wie z. B. Hinterschnitte.

Zusätzliche Vorteile bietet ein messendes Tastsystem, das über eigene Wegmesssysteme verfügt. Damit sind diese Systeme in der Lage, dreidimensionale Konturen sowohl in ebenen Schnitten als auch auf beliebigen, vorgegebenen Bahnen mit vielen Messpunkten zu scannen.

Taktil-optischer Sensor – messend

Ein spezielles messendes Tastsystem ist der Werth „Fasertaster“ (WFP), bei dem der Tasterschaft lediglich zum Positionieren der Tastkugel benutzt wird. Die eigentliche Messung der Position der Kugel erfolgt durch einen im System integrierten Bildverarbeitungssensor. Da die Durchbiegung des Tasters nicht mehr im Messergebnis enthalten ist, sind extrem dünne Schäfte und kleinste Tastkugeln einsetzbar. Die Faser wird gleichzeitig zum Zuführen von Licht zur Tastkugel genutzt. Hierdurch kann im Selbstleuchtmodus gemessen werden. Es ist ebenfalls möglich, mit Durchlicht zu messen. Wegen der kleinen Geometrien entstehen beim Fasertaster nur sehr geringe Anstastkräfte (bis zu wenigen μN). Es können Merkmale mit besonders geringen Abmessungen und besonders berührungsempfindliche Messobjekte gemessen werden. Bedingt durch sein Wirkungsprinzip gehört der Fasertaster neben dem Bildverarbeitungssensor zu den derzeit genauesten Sensoren für Multisensor-Koordinatenmessgeräte. Der Fasertaster ist an dem dreh-schwengbaren Bildverarbeitungssensor einsetzbar. In Verbindung mit dem Werth-Zoom sind außerdem Tasterlängen bis 200 mm ohne Genauigkeitseinbußen möglich. Siehe Abb. 3.

Multisensorik

In Multisensor-Koordinatenmessgeräten werden verschiedene der oben beschriebenen Sensoren kombiniert eingesetzt. Abhängig von den prinzipiellen Eigenschaften der Sensoren ergeben sich unterschiedliche Anwendungsschwerpunkte. Die Abbildung 4 zeigt eine Übersicht der üblichen Sensorarten an Multisensor-Koordinatenmessgeräten sowie typische Einsatzfälle am Messobjekt. Wesentliche anwendungsbezogene Unterscheidungsmerkmale sind die Größe der antastba-

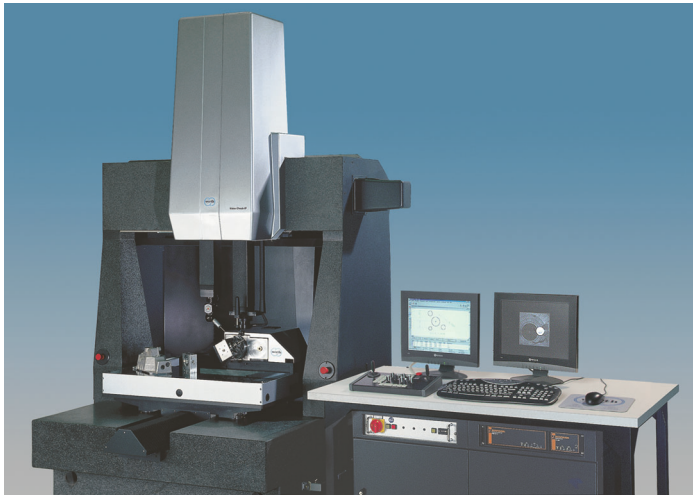


Abb.5: Beispiel eines Multisensor-koordinatenmessgerätes mit zwei Pinolen und einer Drehschwenkachse

wird, ist es möglich, zwei Z-Pinolen einzusetzen. Dadurch kann eine optimale und flexible Sensoranordnung realisiert werden (z.B.: Pinole 1: Werth-Zoom mit CNC-verstellbarem Arbeitsabstand, Multiring und HiCam mit integriertem Werth Laser und einwechselbarem Werth Fasertaster, Pinole 2: CNC-Drehschwenkgelenk mit messendem Tastsystem im Wechsel mit Bildverarbeitung und Werth Fasertaster). Siehe Abb. 5.

Ausblick

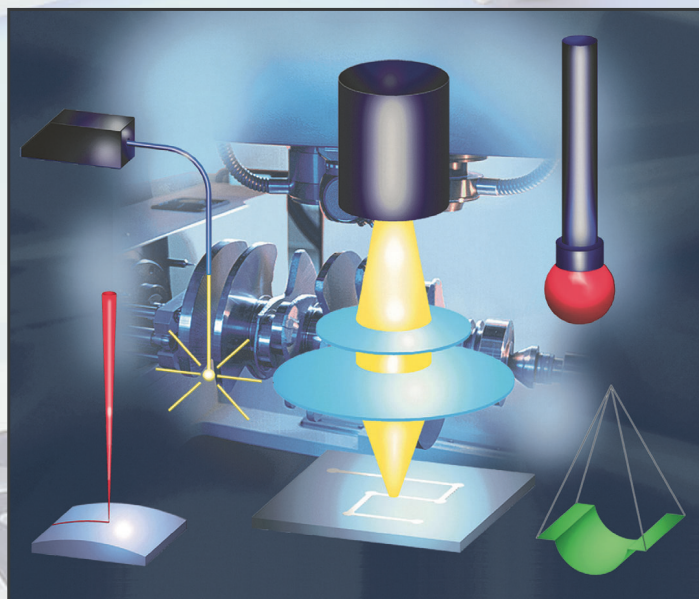
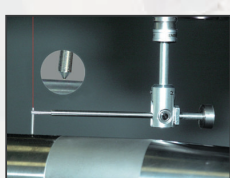
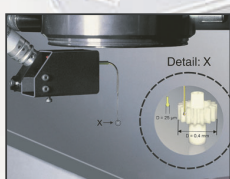
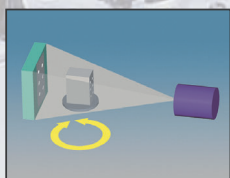
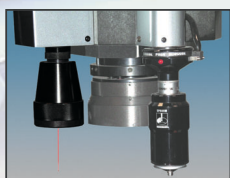
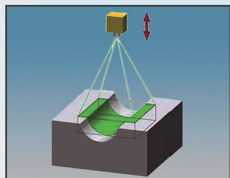
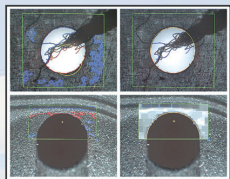
Der Beitrag sollte deutlich machen, dass praktisch für jedes zu messende Merkmal in der dimensionellen Messtechnik ein geeigneter Sensor zur Verfügung steht. Der künftige Anwender steht allerdings vor der schwierigen Aufgabe, die geeignete Sensorik auszuwählen. Kompetente Hersteller werden ihm dabei Unterstützung geben.

Werth Messtechnik, Gießen

ren Objektmerkmale, die Art der Objektmerkmale (Kante, Fläche) sowie die Eignung zur schnellen Erfassung vieler Punkte (Scanning). Um komplexe Messaufgaben umfassend lösen zu können, ist meist der Einsatz mehrerer Sensoren in einem Messablauf erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass einige Sensoren nebeneinander angeordnet sein müssen und damit für den kombinierten Einsatz den Messbereich des Geräts einschränken.

An einer Position gemeinsam messen können die Sensoren Bildverarbeitung, Autofokus, Werth Laser Probe und Werth Contour Probe sowie der Werth Fasertaster. Schaltende und messende Tastsysteme sowie der schwenkbare Bildverarbeitungssensor und der Chromatic Focus Probe können über einen automatischen Wechsel an einer zweiten Position angebracht werden. Damit für die Messung großer 3D-Teile der Messbereich nicht durch eine große Sensoranordnung eingeschränkt

Sensoren für jede Anwendung: Werth Multisensorik



Werth Bildverarbeitung:

Echte Kontur-Bildverarbeitung für sichere Messergebnisse

Werth 3D-Patch (Patentanmeldung):

Der 3D-Oberflächensensor für kleinste Merkmale

Werth TTL Lasertaster WLP (Patent):

Hochgenaues Oberflächen-Scanning

Werth Fast Laser Probe FLP:

Schnelles berührungsloses Scannen von dreidimensionalen Geometrien

Werth Laser Liniensensor LLP:

Schnelle optische Erfassung von Freiformflächen auch an großen Werkstücken

Werth Röntgen-Tomografie:

vollständiges Erfassen des Werkstücks in einem Messvorgang

Werth Chromatic Focus Probe CFP:

Hochgenaues Messen an stark reflektierenden Oberflächen (Spiegel, Linsen, ...)

Mechanisch schaltende- und messende Tastsysteme:

Renishaw-Programm komplett integriert

Werth Fasertaster WFP (Patent):

Weltweit kleinster (min. Tastkugeldurchmesser 25 µm) und genauester Taster

Werth Contour Probe WCP (Patentanmeldung):

Der Tastschnittsensor für Profil- und Rauheitsmessung