

Die Bibliothek der Technik  
Band 248

# Multisensor- Koordinatenmesstechnik

Produktionsnahe optisch-taktile  
Maß-, Form- und Lagebestimmung

Ralf Christoph und  
Hans Joachim Neumann



verlag moderne industrie

---

# Inhalt

<b>Vom Profilprojektor zur optisch-taktilen Messtechnik</b>	<b>4</b>
<b>Gerätebauweisen und Messprinzipien</b>	<b>6</b>
Messmikroskope und Projektoren .....	7
Koordinatenmessgeräte mit Kreuztisch .....	9
Koordinatenmessgeräte mit Portal .....	10
<b>Sensoren für Koordinatenmessgeräte</b>	<b>13</b>
Visuelle Sensoren .....	15
Abstandssensoren .....	25
Taktile Sensoren .....	33
Multisensorik .....	42
<b>Geräteklassen</b>	<b>44</b>
Werkstattmessgeräte .....	44
Mechanisch gelagerte Präzisionsgeräte .....	46
Luftgelagerte Portalgeräte .....	48
Messgeräte für Mikrostrukturen .....	51
Spezialgeräte .....	51
<b>Gerätesoftware</b>	<b>53</b>
Grafisch-interaktives Messen .....	54
Programmierung komplexer Messabläufe .....	56
Messen mit CAD-Daten .....	59
<b>Messgenauigkeit</b>	<b>64</b>
Spezifikation und Annahmeprüfung .....	65
Messunsicherheit .....	68
Messprozesseignung .....	71
<b>Anwendungsschwerpunkte</b>	<b>75</b>
Kunststoffspritzguss .....	75
Blechbiegeteile und Stanzwerkzeuge .....	78
Profilwerkstücke .....	81
Spanabhebende Werkzeuge .....	84
Wellen .....	88
Bauteile mit Mikrogeometrien .....	90
<b>Ausblick</b>	<b>93</b>
<b>Literatur</b>	<b>94</b>
<b>Der Partner dieses Buches</b>	<b>95</b>

---

# Sensoren für Koordinatenmessgeräte

Die Sensoren eines Koordinatenmessgeräts dienen zur Aufnahme des primären Signals vom Messobjekt. Ihr Aufbau aus mechanischen, ggf. auch optischen, elektronischen und Softwarekomponenten ist unterschiedlich komplex. Bei der Auswahl der Sensorik müssen die Bedingungen am Messobjekt wie die Berührungsempfindlichkeit des Objekts und die Größe der zu messenden Merkmale sowie die Anforderungen aus der Prüfplanung wie die Anzahl der Messpunkte berücksichtigt werden. Die Auswahl des Sensors bzw. der Sensoren hängt somit grundsätzlich von der Messaufgabe ab.

Koordinatenmessgeräte können mit schaltenden und messenden Sensoren ausgestattet sein (Abb. 6). *Schaltende Sensoren* liefern beim Aufnehmen eines Messpunkts lediglich ein Triggersignal. Dieses bewirkt, dass die Wegmesssysteme ausgelesen und die Koordinaten bestimmt werden. Zur Ermittlung der Koordinaten eines Objektpunkts ist eine Bewegung in den Achsen zwingend erforderlich (dynamisches Messprinzip). *Messende Sensoren* weisen intern einen eigenen Messbereich von bis zu einigen Millimetern auf. Die Bestimmung eines Objektpunkts erfolgt durch Überlagerung der Messwerte des Sensors und der ausgelesenen Koordinaten des Messgeräts. Das Bestimmen eines Punkts ist somit auch möglich, wenn das Koordinatenmessgerät stillsteht (statisches Messprinzip). Voraussetzung ist lediglich, dass sich der Objektpunkt im Messbereich des Sensors befindet.

Ein weiteres wesentliches Unterscheidungskriterium für Sensoren ist das physikalische Prin-

**Schaltende Sensoren erfordern dynamisches Messprinzip**

**Messende Sensoren gestatten statisches Messprinzip**

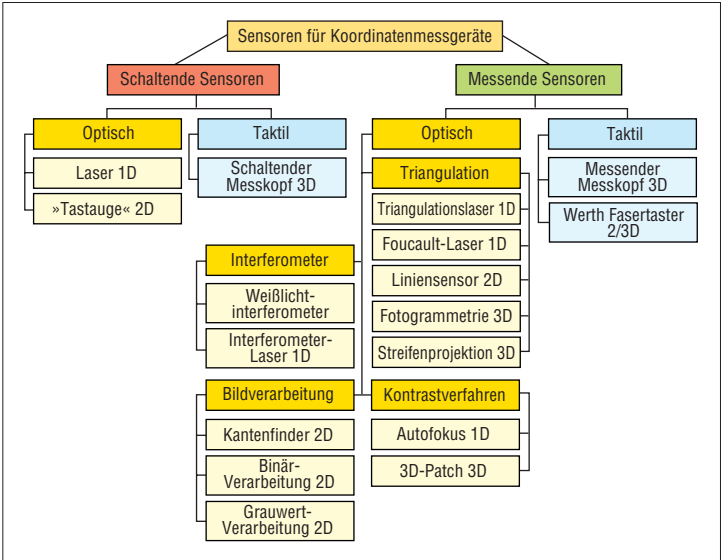


Abb. 6: Sensoren für Koordinatenmessgeräte – Gliederung nach der Funktionsweise: Aus Gründen der Anschaulichkeit sind die im Grunde den Triangulationsverfahren zuzuordnenden Kontrastverfahren separat aufgeführt.

## Ein-, zwei- und dreidimensionale Sensoren

zip der Übertragung des primären Signals. Die derzeit üblichen Sensoren sind diesbezüglich in optische und taktile Sensoren zu unterteilen. Auf einen *optischen Sensor* wird die Information über die Lage eines Messpunkts durch Licht übertragen, so dass hieraus die entsprechenden Koordinaten ermittelt werden können. Beim *taktile Sensor* wird diese Information durch Berühren des Messobjekts mit einem Antastelement, meist einer Tastkugel, erzeugt.

Ein weiteres für die Anwendung wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist die Dimensionalität des Sensors. Sie sagt aus, ob der Sensor eine, zwei oder drei Koordinaten aufnimmt. Bei Sensoren mit weniger als drei Freiheitsgraden für die Antastung werden die restlichen Koordinaten aus der vorher eingemessenen Position des Sensorantastpunkts im Gerätekoordinatensystem ermittelt. Dies schränkt je-

doch die Anwendbarkeit bei komplexen dreidimensionalen Objekten ein und führt durch die erforderliche Positionierung der Sensoren zu längeren Messzeiten.

## Visuelle Sensoren

Unter visuellen Sensoren versteht man alle Sensoren, die ähnlich wie das menschliche Auge ein mindestens zweidimensionales Abbild des zu messenden Objekts zur Grundlage haben. Die Intensitätsverteilung dieses optischen Bildes wird mit einem Sensor erfasst und ausgewertet.

Über Jahrzehnte war das menschliche *Auge* der einzig verfügbare visuelle »Sensor« für optische Koordinatenmessgeräte wie Messmikroskope und Messprojektoren. Subjektiv bedingte Fehlerquellen beim Messen sind z. B. die Parallaxe (schräges Anvisieren) und die durch die logarithmische Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges bedingte Fehlmessung von Hell-Dunkel-Übergängen z.B. an Kanten. Die Messergebnisse hängen daher

### Visuelle Sensoren ersetzen das Auge



Abb. 7:  
»Ich sehe mal wieder gar nichts.« (Cartoon Manfred Pühn)

### **Visuelles Antasten**

grundsätzlich vom Bediener ab (Abb. 7) und sind nur bedingt vergleichbar. Die Messgeschwindigkeit ist nach oben hin begrenzt.

Trotz aller Nachteile stellt das visuelle Antasten auch bei modernen Bildverarbeitungsgeräten die letztmögliche Alternative dar. Sie wird eingesetzt, wenn die zu messenden Objektstrukturen sehr schlecht sichtbar sind und die geometrischen Merkmale nur noch intuitiv angetastet werden können. Setzt man voraus, dass das menschliche Auge beim Anvisieren mit dem Fadenkreuz einige Zehntelmillimeter aufzulösen vermag, kann man mit diesem Verfahren bei z. B. hundertfacher Vergrößerung der Optik einige Mikrometer Auflösung erreichen.

### **Tastauge**

Das Tastauge ist ein schaltender Sensor für Messprojektoren. Eine dünne Glasfaser nimmt das Lichtsignal im Strahlengang des Projektors auf und führt es auf einen Fotomultiplier (s. Abb. 3c). Bewegt man ein Messobjekt durch den Strahlengang, erzeugt jede Kante einen Hell-Dunkel- bzw. Dunkel-Hell-Übergang. Wird nach einem elektronischen Schwellwertverfahren ein Kantenübergang erkannt, werden die Koordinaten des Messstisches ausgelesen. Wichtig ist die richtige Bestimmung des Schwellwerts an kalibrierten Normalen. Bei modernen Systemen geschieht dies vollautomatisch.

### **Durchlicht- messung mit Werth Tastauge**

Der Einsatz des Tastauges ist in der Praxis auf Messungen in zwei bis zweieinhalb Dimensionen im Durchlichtverfahren beschränkt. Zweieinhalb Dimensionen bedeutet, dass in der dritten Achse eine Verstellung, aber keine Messung möglich ist. Geringe Kontraste, wie sie im Auflicht meist vorhanden sind, können zu Fehlmessungen führen, da der punktförmige Sensor kaum Strategien zur Unterscheidung

zwischen Verschmutzungen, Oberflächenstörungen und echten Antastmerkmalen zulässt.

### Bildverarbeitungssensor

Als visuellen Sensor verwendet man heute typischerweise einen Bildverarbeitungssensor (Abb. 8). Das Messobjekt wird durch das Objektiv auf eine Matrixkamera abgebildet. Die Kameraelektronik wandelt die optischen Signale in ein digitales Bild um, das zur Berech-

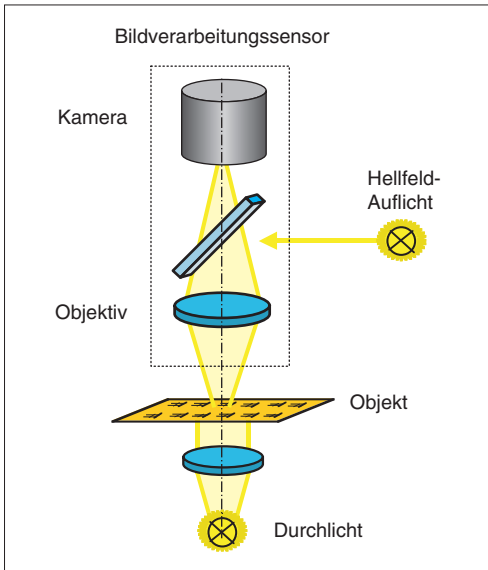


Abb. 8:  
Prinzipieller Aufbau  
eines Bildverarbeitungs-  
sensors mit  
Durch- und Auflicht-  
beleuchtung

nung der Messpunkte in einem Auswerterechner mit entsprechender Bildverarbeitungssoftware herangezogen wird. Auf die Leistungsfähigkeit solcher Sensoren haben die verschiedenen Einzelkomponenten wie Beleuchtung, Optik, Sensorchip, Elektronik und Rechenalgorithmen maßgeblichen Einfluss [3].

Die besten Ergebnisse hinsichtlich der Messunsicherheit lassen sich mit telezentrischen

**Telezentrische  
Objektive sind  
genau**

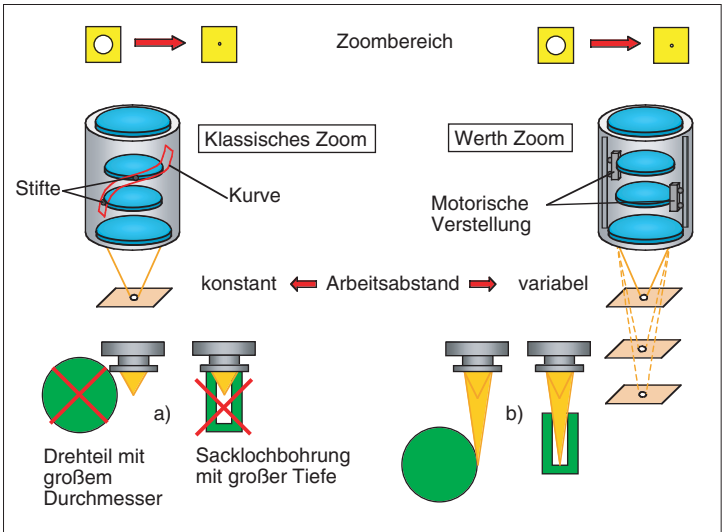
Objektiven erreichen. Die Telezentrie hat den Vorteil, dass bei Veränderung des Arbeitsabstands innerhalb des Telezentriebereichs der Abbildungsmaßstab konstant bleibt und hierdurch keine zusätzlichen Messabweichungen hervorgerufen werden. Dies ist insbesondere bei niedrigeren Vergrößerungen wichtig. Die beste Qualität erreichen telezentrische Objektive mit fester Vergrößerung.

Aus anwendungstechnischer Sicht ist es sinnvoll, hohe und niedrige Vergrößerungen miteinander zu kombinieren. Es sollen z. B. weniger genau tolerierte Merkmale möglichst schnell in einem Bild gemessen oder auch die zu messenden Objekte bei grober Positionierung auf dem Messgerät noch gefunden werden. Zugleich sollen aber eng tolerierte Merkmale in kleinen Bildfeldern hochgenau gemessen werden. Mit telezentrischen Objektiven mit festem Abbildungsmaßstab lässt sich dies auf zwei Wegen realisieren. Der eine Weg besteht darin, die Objektive zu wechseln. Automatisch kann dies z. B. durch einen Revolver geschehen. Problematisch ist die erforderliche hohe Reproduzierbarkeit beim Objektivwechsel. Diese Vorgehensweise wirkt sich somit negativ auf die Messunsicherheit aus. Da meist nur zwei verschiedene Vergrößerungen erforderlich sind, besteht der elegantere Weg darin, zwischen zwei Bildverarbeitungssensoren unterschiedlicher Vergrößerung umzuschalten.

**Zoomobjektive  
sind flexibel**

Die größte Flexibilität erzielt man durch Einsatz einer Zoomoptik (Abb. 9). Aufgrund der Positionierbewegung der optischen Komponenten im Objektiv sind zwar geringfügige Genauigkeitsverluste zu erwarten, diese sind jedoch bei modernen Systemen weitgehend vernachlässigbar. Um eine hohe Reproduzierbarkeit der Positionierung zu erzielen, werden beim Werth Zoom Linearführungen eingesetzt.

**Werth Zoom –  
Vergrößerung  
und Arbeits-  
abstand sind  
variabel**

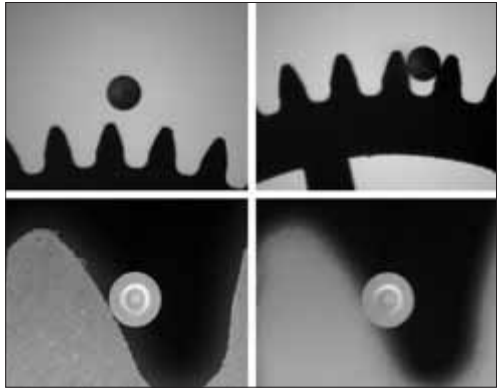


Die für die Zoomvorgänge erforderliche Bewegung der Linsenspakete erfolgt jeweils motorisch. Dieser Aufbau ermöglicht etwa ein bis zehnfache Vergrößerung und Arbeitsabstände in einem Bereich von 30 mm bis maximal 250 mm. Hierdurch kann die Optimierung zwischen dem Messbereich des Sensors und der erreichbaren Messunsicherheit erfolgen (Vergrößerung). Weitgehend unabhängig davon kann der Arbeitsabstand den Erfordernissen des Messobjekts angepasst werden (Kollisionsproblematik).

Zur Digitalisierung der Bilder werden heute üblicherweise CCD-Kameras in Verbindung mit PC-Komponenten für die Bilderfassung (Frame-Grabber-Boards oder Firewire-Schnittstellen) eingesetzt. Der Vorteil der CCD-Kamera gegenüber dem konkurrierenden CMOS-Chip liegt in der guten metrologischen Qualität. Insbesondere der lineare Zusammenhang zwischen dem Eingangssignal (Lichtintensität)

Abb. 9: Werth Zoom mit einstellbarer Vergrößerung und variablem Arbeitsabstand im Vergleich zur klassischen Zoomoptik  
 a) Kollision bei rotationssymmetrischen Teilen und tiefen Bohrungen  
 b) Kollision wird vermieden.

Abb. 25:  
Oben: selbstzentrierendes Messen von  
Zahnradern mit dem  
Werth Fasertaster im  
Durchlichtmodus,  
Tastkugeldurchmes-  
ser 180  $\mu\text{m}$   
Unten: Flanken-  
winkelmessung im  
Selbstleuchtmodus



### Selbstzentrie- rendes Messen

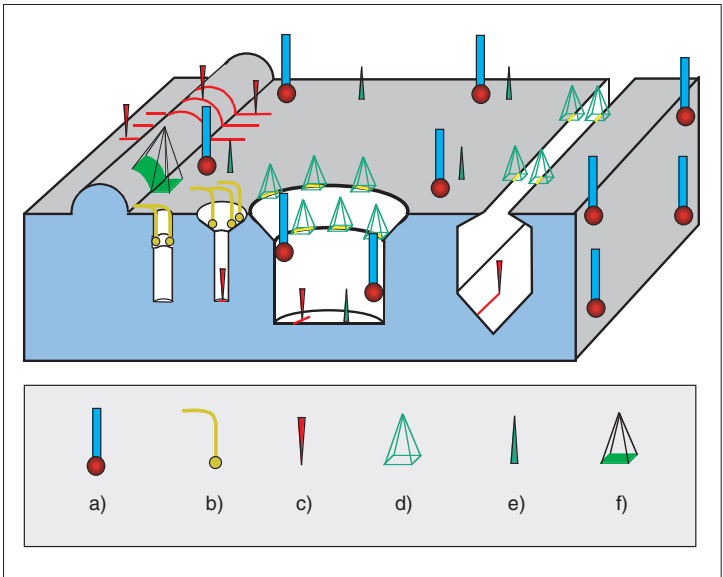
(Abb. 25). Zur Bestimmung von Teilungsabweichungen eines Zahnrads wird eine kalibrierte Kugel in eine Zahnücke positioniert. Aus dem Messwert des Fasertasters (Position der Kugel im Bildfeld) und den Koordinaten des Koordinatenmessgeräts ergibt sich die Position der Kugel am Zahnrad. Aus mehreren Positionen in verschiedenen Zahnücken kann dann z. B. das Zweikugelmaß oder auch die Teilung des Zahnrads bestimmt werden. Durch Antasten der Zahnflanken kann die Flanke gemessen werden.

Aufgrund seines Wirkungsprinzips gehört der Fasertaster neben dem Bildverarbeitungssensor zu den derzeit genauesten Sensoren für Multisensor-Koordinatenmessgeräte.

### Multisensorik

#### Multisensorik verbindet alle Vorteile

In Multisensor-Koordinatenmessgeräten werden verschiedene der oben beschriebenen Sensoren kombiniert eingesetzt. Abhängig von den prinzipiellen Eigenschaften der Sensoren ergeben sich unterschiedliche Anwendungsschwerpunkte (Abb. 26). Wesentliche anwendungsbezogene Unterscheidungsmerkmale sind die



Größe der antastbaren 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.

*Abb. 26:  
Multisensorik: typische Einsatzfälle unterschiedlicher Sensoren:  
a) Mechanischer Taster  
b) Werth Fasertaster  
c) Laser  
d) Bildverarbeitung  
e) Autofokus  
f) 3D-Patch*

## Der Partner dieses Buches

Werth Messtechnik GmbH

Siemensstraße 19

35394 Gießen

Internet: [www.werthmesstechnik.de](http://www.werthmesstechnik.de)

E-Mail: [mail@werthmesstechnik.de](mailto:mail@werthmesstechnik.de)



Die Werth Messtechnik GmbH feierte im Jahr 2001 ihr 50. Gründungsjubiläum. Qualität und Präzision in Verbindung mit Innovationen bilden die Grundlage für eine erfolgreiche Unternehmensentwicklung. Der erste Profilprojektor in Pultbauweise setzte 1955 ergonomische Maßstäbe. Mit ihrer Digitalisierung erhielten die Messprojektoren Ende der 60er-Jahre die Funktionalität eines Koordinatenmessgeräts. Mit dem Werth Tastauga wurde 1977 erstmals ein Glasfasersensor für Messprojektoren angeboten. Dieses Prinzip hat sich weltweit für Messungen im Durchlicht etabliert. Ebenfalls von Werth Messtechnik wurde 1980 das erste optische CNC-Koordinatenmessgerät in den Markt eingeführt.

Ende der 80er-Jahre begann die Entwicklung der Multisensor-Koordinatenmesstechnik. Schon 1987 wurde ein solches Gerät mit integrierter Bildverarbeitung und Lasersensorik unter dem Namen INSPECTOR® vorgestellt. Mit der Einführung der Produktlinie VIDEO-CHECK® im Jahr 1992 wurde der Grundstein für weiteres erfolgreiches Unternehmenswachstum gelegt. Die frühzeitige Integration der PC-Technik und ein streng modulares Konzept erlaubten höchste Leistungen zu akzeptablen Preisen. Werth Messtechnik entwickelte sich zum mit Abstand größten europäischen Anbieter von optischer und Multisensor-Koordinatenmesstechnik. Die Integration der Linearantriebstechnik in Koordinatenmessgeräte sowie Sensorentwicklungen wie der Werth Fasertaster und der Werth Zoom bestätigen den Anspruch der Werth Messtechnik GmbH auf weltweite Technologieführerschaft in diesem Marktsegment. Moderne Entwicklungen im Bereich der Software wie BestFit, ToleranceFit® oder WinWerth®-Autoelement runden dieses Bild ab.

Die stets zweistelligen Zuwachsraten im Verlauf des vergangenen Jahrzehnts gestatteten den Aufbau eines hoch motivierten Teams. 150 Mitarbeiter in Deutschland sowie Vertriebs- und Servicestützpunkte in allen wichtigen Industrieländern gewährleisten, dass Werth Messtechnik auch in der Zukunft modernste Multisensor-Koordinatenmesstechnik in bester Qualität und mit ausgezeichnetem Service bereitstellen kann.