



Ersatz von Mehrstellenmesseinrichtungen und Lehren durch Multisensor Koordinatenmesstechnik

von R. Christoph, D. Ferger und U. Lunze

Einleitung

Viele Fertigungsprozesse werden mit Hilfe von Lehren und Mehrstellenmess-einrichtungen überwacht. Diese Systeme sind in der Lage, komplexe Messaufgaben zuverlässig zu lösen, jedoch mit dem Nachteil hoher Kosten für Fertigung, Instandhaltung und entsprechender Kalibrierung.

Die Multisensor Koordinatenmesstechnik, in Verbindung mit modernsten Softwarepaketen, hat sich heute zu einem wichtigen Werkzeug zum rationellen Ersatz vorgenannter Lösungen entwickelt. Moderne Antastverfahren zur Erfassung der Bauteilgeometrie wie das mechanisch berührende oder optisch berührungslose Messen eröffnen der Koordinatenmesstechnik in Verbindung mit der entsprechenden Software zur Steuerung, Bildverarbeitung und Auswertung neue Anwendungen. Beispiele sind hierfür die Formmessung mittels Koordinatenmessgeräten und das Messen von Maß-, Form- und Lageabweichungen von komplexen, aus mehreren einzelnen Flächen oder Konturen zusammengesetzten Bauteilgeometrien. Letzteres wird bedingt durch die wachsende Funktionalität mechanischer Bauteile bei steigenden Toleranzanforderungen für die Einzelabweichungen. Die funktionellen Zusammenhänge zwischen den Einzelmerkmalen müssen bei der Ermittlung der Maß-, Form- und Lageabweichungen berücksichtigt werden, damit die vorgegebene Toleranz bei der Prüfung vollständig ausgenutzt werden kann. Andernfalls sind Fehlbeurteilungen von Bauteilen nicht auszuschließen.

Körperliche Lehreng

Abb. 1 zeigt die Mitnehmerscheibe einer Fahrzeugkupplung. Solche Bauteile werden in großen Stückzahlen und in unterschiedlichen Varianten gefertigt. Die Fertigung erfolgt durch Stanzen mittels Folgewerkzeugen und Härten, wobei während des Auskühlens noch Umformungen stattfinden.

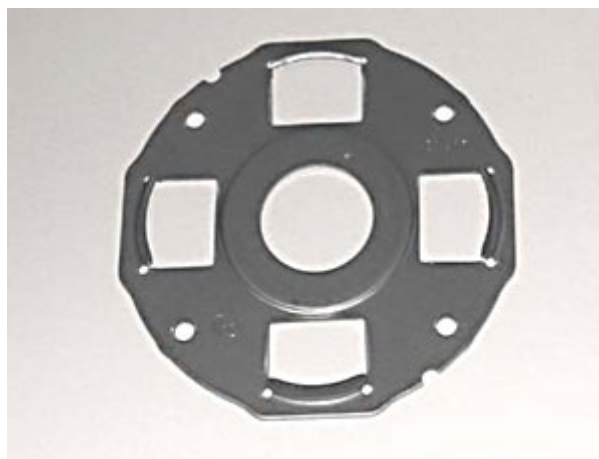


Abb. 1: Mitnehmerscheibe einer Fahrzeugkupplung

Die Funktion der Mitnehmerscheibe wird beeinflusst durch die Durchmesser der Bohrungen, der Breite der Fenster und deren Positionen zueinander. Beispielsweise ist für jede der vier kleinen Bohrungen die zulässige Positionsabweichung abhängig von ihrem Durchmesser. Ohne die Funktion zu beeinträchtigen, kann bei einem Durchmesser mit zulässigem Größtwert auch die Positionsabweichung größer sein als bei einem kleineren Durchmesser (Maximum-Material-Prinzip-DIN EN ISO 2692)

Für eine Funktionsprüfung kamen daher zunächst körperliche Lehren in Form von Stecklehren zum Einsatz. Abb. 2 zeigt die Stecklehre für die betrachtete Mitnehmerscheibe. Die Stifte der Stecklehren repräsentieren Maß und Lage des zugehörigen Elementes des geometrisch idealen Gegenstücks.



Abb. 2: Stecklehre

Die Handhabung einer solchen Stecklehre ist einfach: Das Werkstück muss ohne zusätzlichen Kraftaufwand auf die Stecklehre passen (Abb. 3). Damit ergibt sich als Qualitätsaussage "passt" oder "passt nicht". Diese körperliche Lehrung erfordert keine zusätzliche Schulung der Mitarbeiter, welche diese Prüfung als Selbstprüfung durchführen. Sie ist robust, was bei den betrachteten Fertigungsprozessen Stanzen und Härten besonders relevant ist.



Abb. 3: Prüfung der Mitnehmerscheibe mit Stecklehre

Demgegenüber hat in diesem Fall die körperliche Lehrung entscheidende Nachteile. Für jedes zu prüfende Serienteil muss die Lehre individuell hergestellt werden. Die Vielfalt der zu prüfenden Teile macht viele verschiedene Lehren notwendig. Da die Prüfung nach dem Stanzen und Härten stattfinden muss, verdoppelt sich die Anzahl der Lehren. Neben den Entwicklungs- und Fertigungskosten für die Lehren ergeben sich weitere Aufwendungen für ihre Lagerung und regelmäßige Überwachung einschließlich der dazu notwendigen Prüf- und Hilfsmittel.

Die körperlichen Lehren ermöglichen nur eine Gut/Schlecht-Aussage. Ein reagieren zum Beispiel bei einer statistischen Prozessüberwachung ist damit erst möglich, wenn bereits fehlerhafte Teile entstanden sind. Damit sind sie nur bedingt geeignet zur Umsetzung einer Null-Fehler-Strategie.

Die Aussage einer Lehrenprüfung ist letztendlich nicht 100%-ig frei von Benutzereinflüssen (individuell unterschiedlicher Kräfteinsatz bei der Lehren).

Mehrstellenmesseinrichtung

Abb. 4 zeigt eine Komponente eines Möbelbeschlages, welcher eine sehr hohe Komplexität aufweist.



Abb. 4: Möbelbeschlag

Solche Bauteile werden gestanzt und in vielen Bearbeitungsstufen umgeformt. Sie werden ebenfalls in hohen Stückzahlen und in den verschiedensten Varianten gefertigt. Da diese Teile bereits sehr viele Umformungen durchlaufen haben, sind hier die Masse der Toleranzkette immer wieder zu überprüfen. Zur Lösung dieser Aufgaben werden oft Mehrstellenmesseinrichtungen (Abb. 5) eingesetzt.



Abb. 5: Mehrstellenmesseinrichtung

Durch ein Aneinanderreihen vieler induktiver Messtaster, lassen sich selbst komplexeste Messaufgaben schnell und zuverlässig lösen. Diese Messtaster werden in komplexen Aufbauten verkettet und mit Rechner-technik ausgewertet.

Die Kalibrierung des System erfolgt mit sogenannten Meisterteilen (Abb. 6), welche entsprechend kalibriert sein müssen. Im weiteren Verlauf werden die Teile dann in die

"Messvorrichtung" eingelegt und praktisch im Vergleich gegen das Meisterteil gemessen und die Abweichungen entsprechend ausgewertet.

Dies hat den Vorteil, dass das Ergebnis ein direkter Abweichungswert ist und nicht nur die Aussage "passt" oder "passt nicht" . Außerdem stehen die Messwerte elektronisch zur Prozesslenkung zur Verfügung.

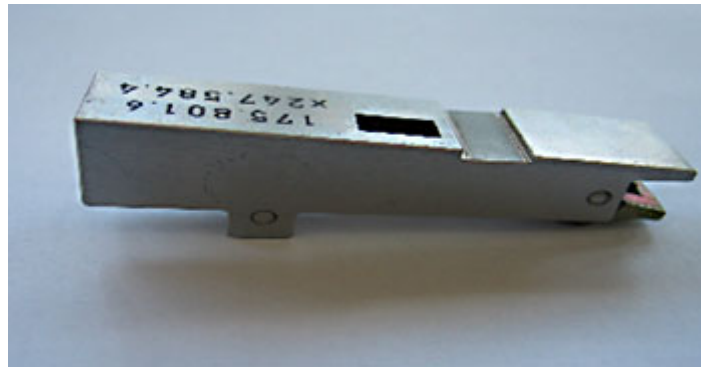


Abb. 6: Einstellmeister

Die Kosten für eine Mehrstellenmesseinrichtung inklusive der erforderlichen Prüfmittel, können sich sehr schnell in Größenordnungen von mehreren 10.000,00 EURO bewegen. Durch den Spezialaufbau sind sie nicht universell einsetzbar und natürlich benötigt jede Mehrstellenmesseinrichtung ein der Aufgabe entsprechendes kalibriertes Meisterteil.

Gerätetechnik

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Prüfprozesse mussten daher Alternativen gesucht werden. Dabei waren folgende Kriterien wichtig:

- gleichzeitige Bewertung von Maß, Form und Lage
- gemeinsame Bewertung aller Ist-Konturen zu den Soll-Konturen
- automatischer Messablauf
- automatische Auswertung und Bewertung der Teilequalität
- Robustheit im Werkstattbetrieb (Temperatur, Schmutz, Schwingungen, Bediener)
- ein Messbereich für Kleinteile mit Abmessungen von einigen Millimetern bis hin zu Teilen mit maximalen Längen von 1000 mm
- Universelle Nutzung auch für andere Messaufgaben
- SPC

Für beide Anwendungsfälle werden die Anforderungen am besten durch den Einsatz eines Multisensor-Koordinatenmessgerätes mit CNC Betrieb, z. B. Scope-Check (Abb. 7) oder Video-Check (Abb. 8) erfüllt.





Abb. 8: Video-Check IP 1000 Multisensor in Bauweise "Feste Brücke"

Die Konturen des Werkstückes werden durch eine hochauflösende Kamera im Durchlicht- und Auflichtverfahren erfasst und digitalisiert (bzw. durch Sensoren analog Abb. 9). Digitale Filtertechniken sichern die notwendige Robustheit der Messung, damit Schmutzpartikel und andere Störungen nicht das Messergebnis beeinflussen. Diese Geräte sind aufrüstbar mit weiteren Sensoren der Koordinatenmesstechnik (mechanische messende und schaltende Taster, Laserscanner u. a.) und zusätzlichen Messachsen (Dreh- und Schwenkachsen).

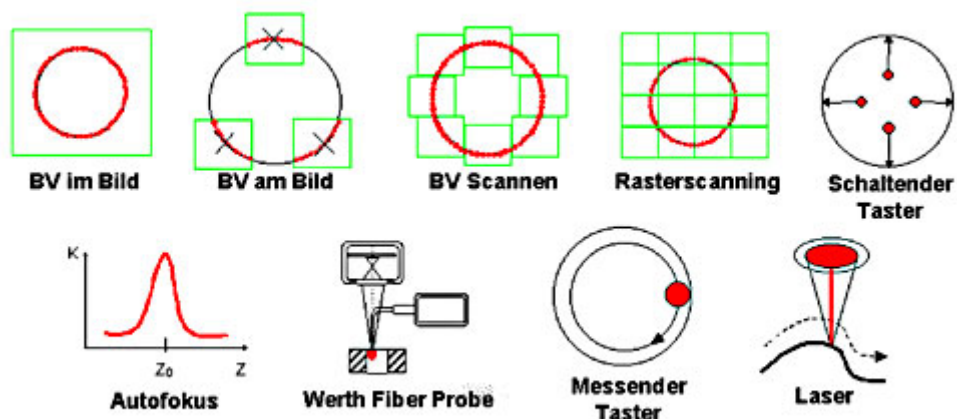


Abb. 9: Sensorik und Antaststrategien

Zur CNC-Programmierung des Messablaufes bestehen drei Möglichkeiten (Abb. 10)

- am Gerät im Lernbetrieb (Teachin) an Hand des Werkstückes
- am Gerät im CAD-online Modus an Hand der Nenngeometrie, welche von einem CAD-System übertragen worden ist
- im CAD-offline Modus am CAD-Arbeitsplatz und Übertragung des Messprogramms über

notwendigen Objektbereichs (Setzen eines Fensters), des zu messenden Geometrieelements (Gerade, Kreis) oder der notwendigen Verknüpfungsalgorithmen zum Ermitteln von Distanzen und Winkeln.

Dank der anwenderfreundlichen Bedienerphilosophie ist das Messen so einfach wie das Lesen einer Konstruktionszeichnung.

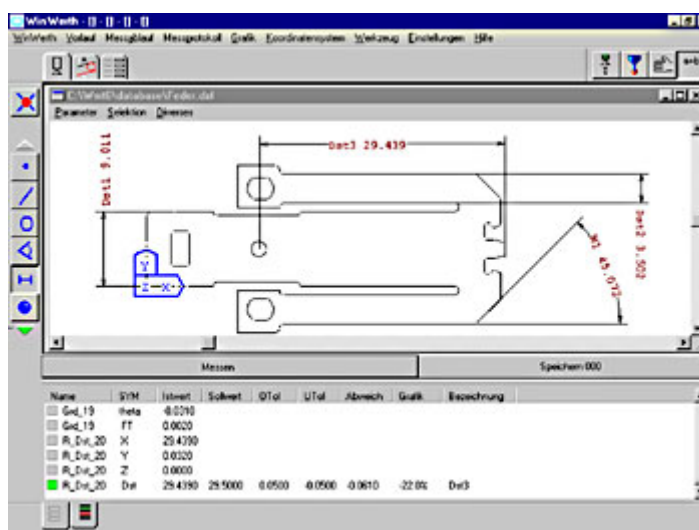


Abb. 11: Messen einfach wie "Zeichnung lesen"

Das Gerät kann dann auch von Bedienern genutzt werden, die den Prüfvorgang nicht im Detail kennen. Für diese Anwender bietet die Software die Möglichkeit, lediglich die Teilenummer auszuwählen und mit ihr einen automatischen Programmablauf zu starten. Dies kann alternativ durch das Scannen eines Strichcodes auf dem Fertigungsauftrag erfolgen.

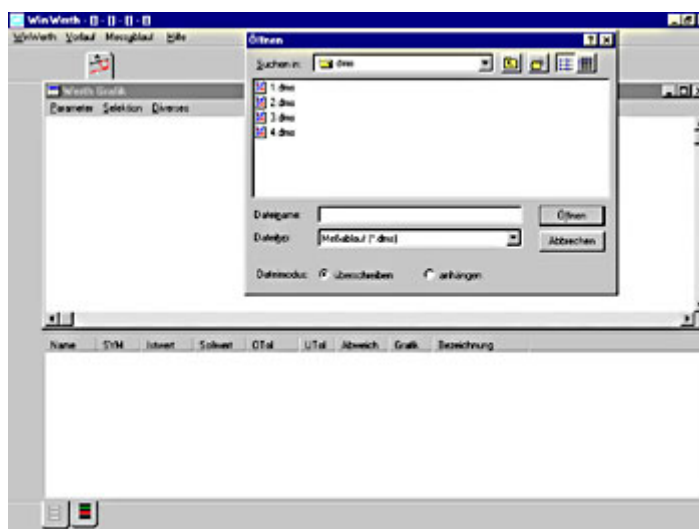
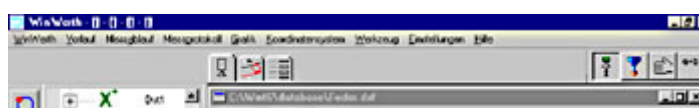
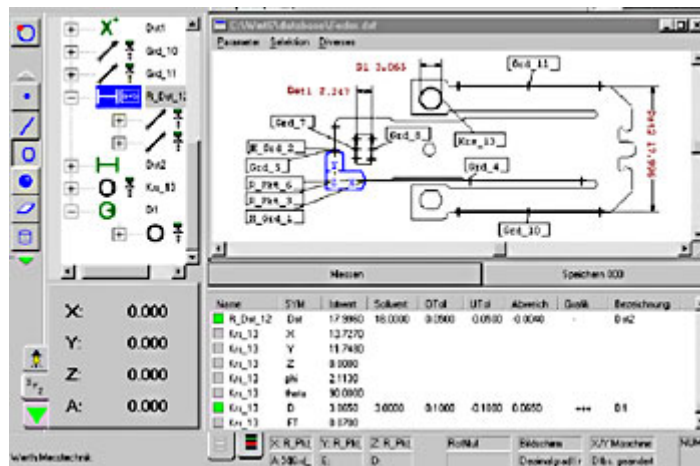


Abb. 12: Prüfabläufe starten

Durch Anklicken eines beliebigen Merkmals ist es dem Bediener möglich zu prüfen, auf welche geometrischen Elemente das Merkmal aufbaut. Fortgesetztes Anklicken führt schrittweise bis zur einzelnen Messoperation und ihren Technologieparametern (Sensorik und Beleuchtung). Parallel zum Merkmalsbaum werden die entsprechenden Merkmale, geometrischen Elemente und Messergebnisse auch in der Zeichnungsdarstellung des Messablaufs und im numerischen Messprotokoll sichtbar gemacht. Verknüpfungsoperationen können entweder im Merkmalsbaum oder in der grafischen Ansicht programmiert werden.





ToleranceFit - Lehren auf dem Multisensor Koordinatenmessgerät

Zur lehrenden Prüfung der Bauteile ist nun eine gleichzeitige Betrachtung der funktionsrelevanten gescannten Istkonturen mit den zugehörigen Sollkonturen und Toleranzen notwendig. Dieses geschieht mittels der Software ToleranceFit (Abb. 14) Ausgehend von der Nenngeometrie, welche vom CAD-System bereitgestellt werden kann, erfolgt die interaktive Festlegung der Toleranzgrenzen für die einzelnen Konturen. Das Messen der Bauteile erfolgt durch Scannen der Kontur mittels Kamera oder eines mechanischen Tastsystem.

Die weitere Messung erfolgt nun in zwei Schritten:

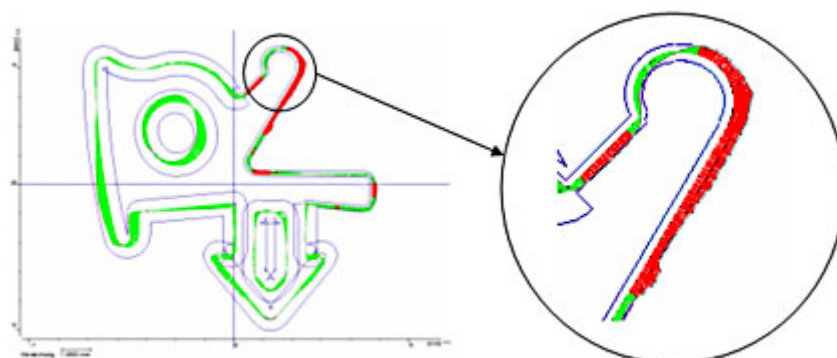
- Grobausrichtung
- Einpassung in die Toleranzzone (ToleranceFit)

Zur Grobausrichtung hat der Anwender neben dem Aufbau eines werkstückeigenen Koordinatensystems anhand gemessener Geometrieelemente oder mittels Anschläge zwei weitere Möglichkeit

1. Interaktiv am Bildschirm durch ziehen der Istpunkte mit der Maus oder manueller Eingabe von Transformationswerten
2. Mittels einer Softwareoption, welche der Grobausrichtung durch Einpassen der konvexen Hüllen von Soll- und Istkontur realisiert

Neu ist hier die Art der Auswertung. Die Einpassung erfolgt nicht mehr nur auf die Sollkontur z. B. nach der Methode der kleinsten Quadrate oder des Minimierens der größten Abweichung mit anschließendem Toleranzvergleich, sondern es wird direkt in die Toleranzzone eingepasst. Abb. 14 demonstriert diesen prinzipiellen Unterschied der Einpassstrategien.

Nach einer ToleranceFit Einpassung liegen entweder alle Istpunkte mit größtmöglichem Abstand in der Toleranzzone, bzw. unvermeidliche Toleranzüberschreitungen sind so klein wie möglich.



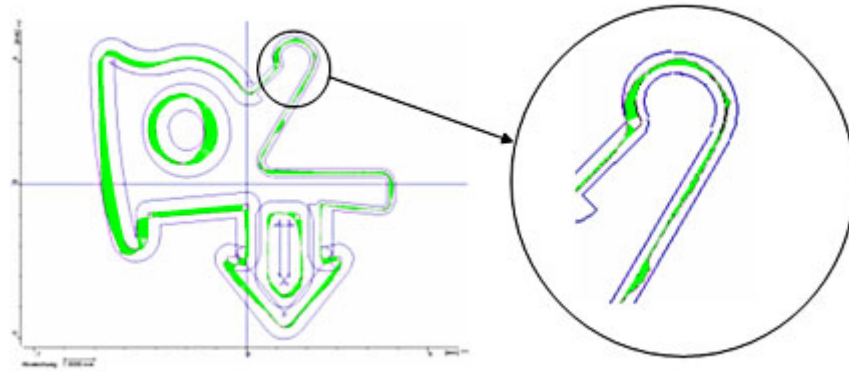


Abb. 14 b) : Einpassung des identischen Falles in die Toleranzbänder

In Abb. 14 b) lässt sich sehr gut erkennen, wie durch die Toleranzbandeinpassung die Abweichungen im gezoomten Bereich geringer werden als im Falle der Einpassung auf Sollkontur Abb. 14 a). Im linken (ungezoomten) Bereich des Teiles werden die Abweichungen durch die Toleranzbandeinpassung natürlich größer, liegen aber innerhalb der Toleranzgrenzen.

ToleranceFit ersetzt nicht nur die körperliche Lehrung, sondern liefert zusätzliche Informationen: Die Stellen mit dem geringsten Abstand zu den Toleranzgrenzen bzw. mit Toleranzüberschreitungen werden exakt ermittelt. Bezogen auf die Gutseite entspricht das den Stellen mit geringstem Spiel bzw. wo Material eine Montage verhindern würde. Diese Abstände und ihre Lage können als Grundlage dienen für statistische Prozessregelung. Diese ermöglicht im Gegensatz zur körperlichen Lehrung Trendanalysen und ein eingreifen in den Prozess, bevor es zu Toleranzüberschreitungen kommt. Eine statistische Prozessregelung kann auch auf der durch ToleranceFit ermittelten Verschiebung und Drehung zwischen Ist- und Sollkontur - gleiche Strategie bei der Grobausrichtung vorausgesetzt - aufbauen.

Darüber hinaus stehen für die Anwendungen unterschiedliche Möglichkeiten zur Visualisierung des Messergebnisses und zusätzliche Optionen u. a. zum Eliminieren offensichtlicher Ausreißer bereit.

Fertigungsintegriertes Messen von Möbelbeschlägen

Die im Einsatz befindlichen Video-Check Portalgeräte sind fertigungsnah eingesetzt und nutzen Videosensorik, taktile 3D-Taster und Lasersensoren zur Lösung der spezifischen Messaufgaben. Zum Teil werden auch Spiegelvorsätze an den Optiken eingesetzt, um die Vorteile der schnellen opt. Messtechnik in anderen Ebenen nutzen zu können.

Der Schwerpunkt liegt auf den opt. Messungen, da hierdurch erhebliche Messzeiteinsparungen zu erzielen sind. So werden z. B. heute ca. 70 - 80 % der geforderten Merkmale optisch gemessen, wobei der Zeitaufwand für die taktilen Messungen bei ca. 50 % der Gesamtprüfzeit liegt, d. h. 20 % der Aufgaben nehmen 50% der Zeit, bedingt durch taktile Antastungen, in Anspruch.

Die Messmaschinen werden im 3 Schichtbetrieb eingesetzt. Der Werker beschickt die Anlage mit den entsprechenden Werkstückaufnahmen und Werkstücken und startet lediglich die Messprogramme. Um Fehlbedienung auszuschließen, wird per Barcodereader der Fertigungsauftrag gescannt und daraufhin vollautomatisch das entsprechende Teileprogramm gestartet. Im Anschluss an die Messung werden die Messdaten vollautomatisch an ein SPC System übergeben, ausgewertet und falls nötig werden automatisch entsprechende

Korrekturmaßnahmen an den Bearbeitungszentren eingeleitet.



Abb. 15: Werkstückaufnahmen



Abb. 16: Video-Check 650 mit bestückten Beschlägen und pneum. Klemmung



Abb. 17: Übergabe der Messdaten an das hauseigene SPC System

Lehren von Kupplungsteilen

Das Koordinatenmessgerät Video-Check IP Tischgerät ist fertigungsnah installiert und ebenfalls mit einer Umhausung versehen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Störeinflüssen durch die Fertigung (Temperatur, Verschmutzung u. a.). Der für den entsprechenden Arbeitsschrittverantwortliche Mitarbeiter prüft selbständig ein Bauteil (oder eine kleine Stichprobe) mit dem Video-Check in Verbindung mit Tolerancefit in festgelegten Zeitabständen.

Zur Grobausrichtung dient dabei ein Anschlagwinkel auf dem Messtisch des Gerätes und der Mitarbeiter startet den vorhandenen Messablauf (Abb. 18).

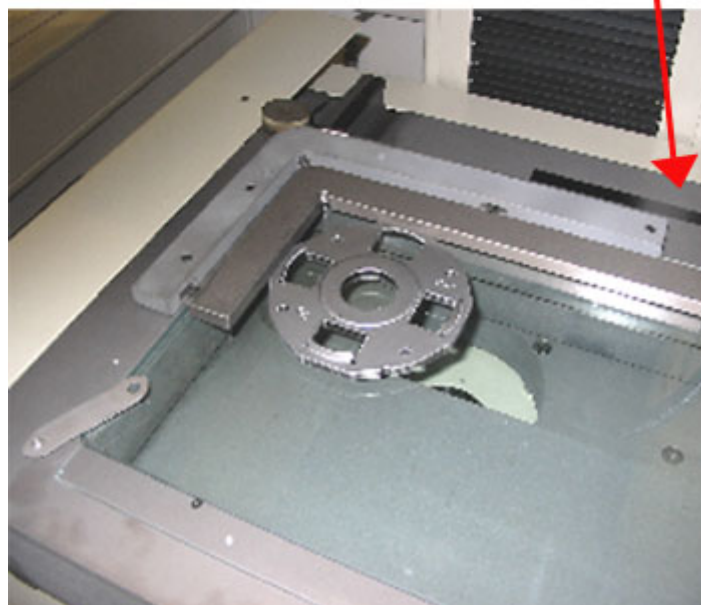


Abb. 18: Vorrichtung und Gerät

Notwendige teilbezogene Hinweise und Besonderheiten z. B. zur Werkstückauflage werden ihm dabei per Bildschirm mitgeteilt. Messung und Auswertung erfolgen sofort automatisch. Das Ergebnis der Einpassung wird grafisch dargestellt und zur Dokumentation der Prozessqualität und für weitere Analysen zentral gespeichert.

Die Aufgaben der Gerätebedienung werden für die Fertigungsmitarbeiter damit auf ein Minimum reduziert, und entsprechend denen bei der richtigen Handhabung einer körperlichen Lehre. In besonderen Situationen (erkennbare Ausreißer an gescannter Kontur) werden Mitarbeiter der Qualitätssicherung hinzugezogen.

Während die körperlichen Lehren teilbezogen vorhanden sein mussten, erfolgt jetzt die Prüfung mit einem einzigen Messgerät. Obwohl dieses in der Fertigung steht, können für die Mitarbeiter der Fertigung längere Wege zwischen Fertigungseinrichtung und Prüfplatz entstehen. Dieser Aufwand wird aber durch die geringere Prüfdichte, welche infolge des wesentlich höheren Informationsgehalt der Messung möglich wird, mehr als kompensiert

Gegenüberstellung der Systeme

(↑=Vorteil, →=Neutral, ↓=Nachteil)

Mehrstellenmesseinrichtung / Lehre	Multisensor Koordinatenmessgerät
↑ Schnelle Ergebnisse	→ Mittlere Ergebnisverfügbarkeit
↑ Komplexität / Handling	→ Komplexität der Anlagen konstant
↓ Flexibilität bzgl. Teileänderungen gering	↑ Flexibilität bzgl. Teileänderungen hoch
↓ Rüstzeiten hoch	↑ Rüstzeiten gering
↓ Prüfkosten pro Teil hoch	↑ Prüfkosten pro Teil gering da universell
↓ Meisterteilfertigung und Kalibrierung	↑ Meisterteile entfallen
↓ Rückführung aufwändig	↑ Rückführung gegeben
↓ Herstellkosten der Anlage hoch	↑ Herstellkosten konstant (Seriengeräte)
↓ EDV Kompatibilität gering	↑ EDV Kompatibilität hoch

Multisensor Koordinatenmessgerät ermöglichen es, selbst komplexe Teile in einem Arbeitsgang zu messen, da sämtliche Sensoren im identischen Koordinatensystem arbeiten.

Existierende Messprogramme lassen sich leicht an entspr. Änderungsstände anpassen. Die Rüstzeiten und Prüfkosten pro Teil verringern sich erheblich, da prinzipiell alle Teile auf ein und demselben Gerät geprüft werden können, und nicht jedes Teil spezielle Messvorrichtungen bzw. Lehren erfordert. Die Herstellung von Kalibrier- und Meisterteilen entfällt. Damit verbundene Kosten für Kalibrierung und Instandhaltung (Prüfmittelverwaltung) somit ebenfalls nicht existent. Die Rückführbarkeit der Messergebnisse auf staatl. Normale der Messergebnisse ist implizit gegeben. Diese Investitionssummen rechtfertigen bei einer großen Teilvielfalt sehr schnell den Einsatz der entsprechenden Multisensor Gerätetechnik.