

## **Integration von Koordinatenmeßgeräten in die flexible Fertigung**

### **Integration of Coordinate Measuring Machines into Flexible Production**

Dr.-Ing. **U. Heisel** und Dr.-Ing. **K. Feutlinske**, Berlin

#### Zusammenfassung

Die Integration von Koordinatenmeßgeräten in die flexible Fertigung bezieht sich sowohl auf den Material- als auch auf den Informationsfluß. Bezüglich des Materialflusses bestehen aus der Sicht des FFS-Herstellers Anforderungen an die Meßgeräte, die sich vor allem auf die Konstruktion und das Betriebsverhalten beziehen. Der Informationsfluß bedingt ein Verbundsystem der Meßgerätesteuerung und der Systemsteuerung des FFS mit hoher Rechnerintelligenz, um Qualitätsregelkreise im selbstüberwachten Automatikbetrieb realisieren zu können.

#### 1. Einleitung

Die Einbeziehung der Qualitätssicherung und der Prozeßüberwachung in die Automatisierung des Fertigungsprozesses ist ein seit langem diskutiertes Thema. Aus der Sicht des Herstellers von Flexiblen Fertigungssystemen (FFS) (Bild 1) bedeutet die Integration einer Koordinatenmeßmaschine (KMG) zunächst die Einbeziehung einer zusätzlichen Komponente in den Material- und Informationsfluß unter Berücksichtigung der spezifischen Problematik der prozeßnahen Qualitätssicherung. Eine enge Zusammenarbeit mit dem KMG-Spezialisten ist dazu unumgänglich.

Vorteilhaft werden die Werkstücke in der Bearbeitungsaufspannung, d.h. auf den Werkstückpaletten, vermessen -

die Koordinatenmeßmaschine muß also durch das Paletten-transportfahrzeug in gleicher Weise wie die Bearbeitungs-maschinen angefahren werden. Die Integration des KMG in das FFS bezieht sich somit auf die drei Bereiche:

- Mechanische und elektromechanische Einbindung in den automatisch gesteuerten Werkstückfluß
- Meßtechnische Datenverarbeitung der Meßsignale
- Datenrückführung und Kommunikation mit der übergeordneten Systemsteuerung (Zellenrechner) des FFS.

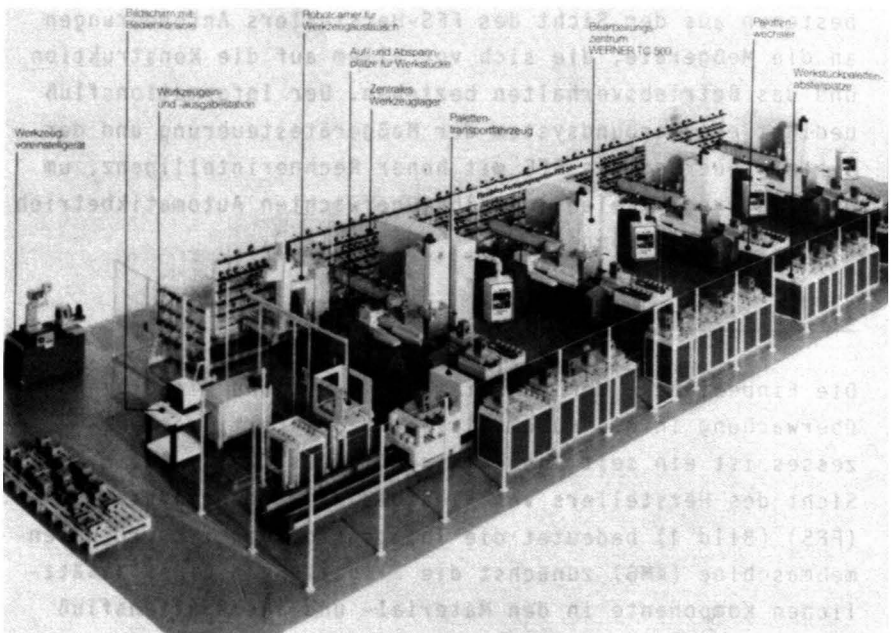


Bild 1. Flexibles Fertigungssystem für die Bohr- und Fräsbearbeitung (Werkbild: WERNER und KOLB Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin)

## 2. Werkstückqualitätsprüfung - Bestandteil einer umfassenden Prozeßüberwachung im FFS

Die möglichst kurzfristig nach der Bearbeitung durchgeführte Qualitätsprüfung der gefertigten Werkstücke gehört neben den Maßnahmen zur Funktionsprüfung und Fehlerdiagnose der einzelnen Prozeßkomponenten und der ständigen Überprüfung der für die Bearbeitung eingesetzten

Werkzeuge zur umfassenden Prozeßüberwachung für den Automatikbetrieb Flexibler Fertigungssysteme. Ziel ist es, Tendenzen, die zu Ausschußproduktion oder Stillstand einzelner Bearbeitungszentren des FFS führen, zu erkennen und ihnen rechtzeitig entgegenzuwirken.

Ursachen der Abweichungen der Werkstückqualität von vorgegebenen Qualitätsmerkmalen sind Verschleiß und Verformung der Werkzeuge während der Bearbeitung, Steuerungsfehler der Maschine sowie übermäßiger Wärmegang einzelner Maschinenelemente. NC-Programmfehler, Werkzeugeinstellfehler oder Werkstückaufspannfehler sind als Ausschußursache weitgehend auszuschließen, da der eigentlichen Produktion der Einrichtebetrieb mit der Probebearbeitung vorausgeht. Die im Einrichtebetrieb gefertigten Werkstücke müssen daher komplett vermessen werden, während für die folgende Auftragsbearbeitung meist Stichprobenprüfungen bzw. die Prüfung kritischer Funktionsmaße ausreicht. Grundsätzlich lassen sich die Messungen im Arbeitsraum der Maschine oder in einem Prüfbereich durchführen, der räumlich möglichst nah am Bearbeitungsprozeß liegt.

Nachteil der Messungen im Arbeitsraum ist, daß während des Meßvorgangs die Maschine nicht produzieren kann bzw. die spezielle Prüfeinrichtung einer ganz speziellen Meßaufgabe zugeordnet ist. Eine flexibel automatisierte Fertigung mit ihrer Werkstückvielfalt erfordert aber flexible Prüfeinrichtungen. Das bieten CNC-gesteuerte

Koordinaten-Meßgeräte (KMG), die zunehmend unter der Bezeichnung "Werkstattmeßmaschine" oder "Meßroboter" auch für den Einsatz im Fertigungsbereich angeboten werden (Bilder 2, 4, 6).

### 3. Ziele der Integration - Anforderungen an das System

Das mit der Integration von KMG im FFS angestrebte Ziel läßt sich qualitativ abgestuft wie folgt beschreiben:

- ° Sicherung der geforderten Werkstückqualität durch **Einteilung der Prüflinge** in Gut-, Ausschuß- und Nacharbeits-Teile
- ° Erhöhung des Gutanteils durch Analysieren des Bearbeitungsprozesses, Erkennen von Ausschußursachen und Einleiten **manueller Korrekturen**
- ° Schließung des **Qualitätsregelkreises** zwischen KMG und Bearbeitungsmaschine

Um dies erreichen zu können, ergeben sich aus der Sicht des Herstellers von FFS eine Vielzahl von Anforderungen an die Prüfbedingungen, das KMG und dessen Integrationsfähigkeit.

#### 3.1 Anforderungen an die Prüfbedingungen bedingt durch den prozebnahen Einsatz des KMG

Zur Erzielung einer hohen Meßsicherheit sind insbesondere widrige Umwelteinflüsse, wie Temperaturschwankungen, Erschütterungen und Schmutz vom KMG fernzuhalten.

Durch Schwingungsdämpfung oder ein geeignetes Fundament muß für eine ausreichende Schwingungsisolierung gesorgt werden, die vom KMG-Hersteller vorzugeben ist.

Temperatursprünge oder Temperaturgradienten im Bereich des KMG müssen verhindert werden - ideal wäre, wenn sowohl

die Werkstücke als auch der Meßraum und der Werkzeugmaschinenbereich gleiches Temperaturniveau aufwiesen. Wenn sich die Temperaturkonstanz erst beim späteren Betrieb als nicht ausreichend erweist, muß auch die nachträgliche Anbringung einer KMG-Schutzkapsel möglich sein (siehe auch Bild 6).

Langsame Temperaturänderungen müssen bei der Prüfung rechnerisch berücksichtigt und kompensiert werden. Eine geeignete Korrekturmöglichkeit ergibt sich auch durch Erfassung der Werkstücktemperatur und deren Berücksichtigung bei der Meßwertermittlung sowie durch zyklische Vermessung von Meisterstücken und entsprechenden Abgleich der Meßmaschine.

Wichtige Voraussetzung für die fehlerfreie Prüfung ist, daß nur gereinigte Werkstücke vermessen werden. Nach dem Bearbeiten werden die Werkstücke im Bearbeitungszentrum unter einer Kühlmittelschwalldusche gespült, Spänereste werden so meist ausreichend beseitigt. Kompliziert geformte Teile, die einer intensiveren Reinigung bedürfen, müssen vor dem Transport zum KMG in speziellen Werkstückwaschmaschinen gesäubert werden. Auch der Meßraum des KMG muß staub- und schmutzfrei gehalten werden. Bei Verwendung einer Schutzkapsel sollte diese u.U. unter Überdruck stehen, so daß beim Einschleusen einer neuen Werkstückpalette kein Staub und Schmutz in die Kabine eindringen kann.

### 3.2 Anforderungen an das System bedingt durch die mechanische und elektromechanische Einbindung des KMG

Die Integration von Koordinatenmeßmaschinen in die flexible Fertigung erfordert eine konstruktive Gestaltung der Geräte mit dem Ziel, daß

- ° die Einbindung in den automatischen Werkstückfluß in gleicher Weise wie das Anfahren der Palettenwechsler

einer Bearbeitungsmaschine durch das Palettentransportfahrzeug erfolgen kann,

- die Meßgeschwindigkeit dem Zeitverhalten des Gesamtsystems gerecht wird.

Bild 2 zeigt beispielsweise zwei verschiedene Konstruktionsprinzipien von Meßmaschinen. Der Pfeil deutet die Materialflußrichtung der zu vermessenden Werkstücke an. Das KMG muß mechanisch so gestaltet sein, daß mit einer speziellen Einzugsvorrichtung die automatische Zuführung der auch in der Fertigung verwendeten Werkstückpaletten und ihre Fixierung in der Meßposition erfolgen kann. Eine integrierte SPS\* sorgt für die Schaltfunktionen. Der Signalaustausch bei der Palettenübergabe kann über eine Parallelschnittstelle zum Zellenrechner des FFS erfolgen.

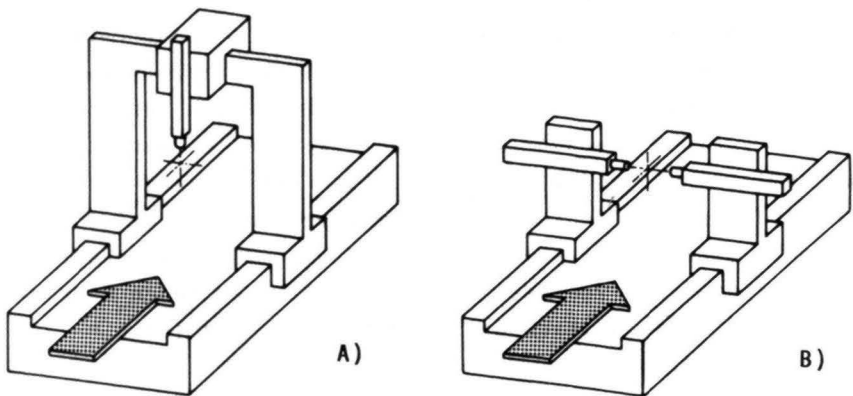


Bild 2. A) Portalmeßmaschine mit einem senkrecht angeordneten Meßarm  
B) Meßroboter mit zwei waagrecht angeordneten Meßarmen

Vorteil der Portalmeßmaschine (Bild 2 A) ist ihre geringe Meßunsicherheit und die Möglichkeit der 5-seitigen Werkstückantastung mit nur einem Meßarm. Die Positionier-

\*Speicherprogrammierbare Steuerung

bzw. Meßgeschwindigkeit ist hierbei aber relativ gering, da mit dem Portal große Massen beschleunigt werden müssen.

Beim Meßroboter liegen die beiden Meßarme waagrecht, die Meßrichtung entspricht damit der Bearbeitungsrichtung des Horizontal-Bearbeitungszentrums. Die Meßarme arbeiten simultan an verschiedenen Werkstückseiten, was ebenso zur Erzielung kurzer Durchlaufzeiten beiträgt wie die aufgrund kleiner bewegter Massen mögliche hohe Vorschubgeschwindigkeit. Für die 5-Seiten-Antastung ist bei diesem KMG immer ein zweiter Meßarm oder aber ein integrierter Drehtisch notwendig.

Zur Erzielung von Flexibilität muß bei den KMG die Möglichkeit vorgesehen sein, verschiedene Tasterkombinationen automatisch einwechseln zu können. Außerdem muß das Werkstück auch ohne Rücksicht auf seine Lage zu den KMG-Achsen vermessen werden können, was eine automatische Kompensation des Fluchtungsfehlers erforderlich macht.

### 3.3 Anforderungen an das System bedingt durch die datenmäßige Einbindung des KMG

Auch an die Schnittstelle der Meßgerätesteuerung sind Anforderungen gestellt, die sich auf den Datendialog mit der Systemsteuerung beziehen. Meßprogramme, die in der Systemsteuerung oder in einem übergeordneten Leit-rechner gespeichert sind, müssen übertragbar und das Ergebnis einer Werkstückprüfung rückübertragbar sein. Außerdem empfiehlt sich eine Strukturierung und Parametergestaltung der Meßprogramme in der Weise, daß die Erstellung am gleichen Programmierplatz erfolgen kann, wie dies für Bearbeitungsprogramme und DNC-Betrieb heute üblich ist. Damit in Zusammenhang ergibt sich ein Anforderungsprofil, wie es u.a. durch MAP im Sinne einer weitgehenden Standardisierung angestrebt wird.

#### 4. FFS-Systemaufbau mit KMG

Ein Beispiel für einen Systemaufbau mit integrierter Koordinatenmeßmaschine zeigt das Bild 3. Dieses Flexible Fertigungssystem enthält zwei Bearbeitungszentren vom Typ WERNER-TC 500, ein Werkzeugerversorgungssystem, bestehend aus Werkzeugvoreinstellgerät, Werkzeugein- und -ausgabestation, einem schienengebundenen Werkzeughandhabungsgerät für den gezielten Austausch von Einzelwerkzeugen zwischen Zentrallager, Maschinenmagazinen und der Ein- und Ausgabestation bei Auftragswechsel oder Werkzeugver-

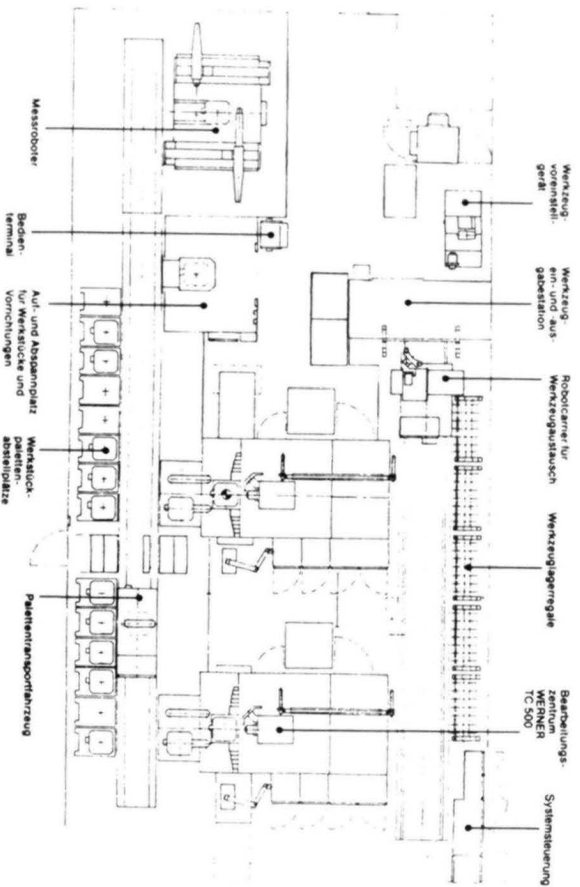


Bild 3. Flexibles Fertigungssystem WERNER FFS 500-2 mit zwei Bearbeitungszentren vom Typ TC 500 und integriertem Meßroboter

schleiß bzw. -bruch. Der Werkstücktransport, der zwischen dem Rüstplatz, den Palettenabstellplätzen und dem Meßroboter (Bild 4) erfolgt, wird mit einem schienengebundenen Palettentransportfahrzeug durchgeführt. Die Handhabungsanweisungen und -ablaufolgen werden von der übergeordneten Systemsteuerung vorgegeben und koordiniert.



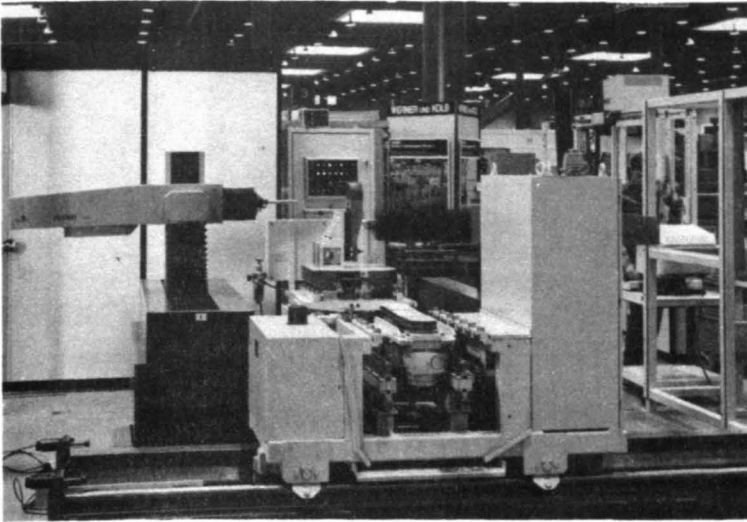


Bild 4. Meßroboter vom Typ BRAVO 1102 wird mit einer Werkstückpalette versorgt

Die Werkstückpaletten werden also unmittelbar nach der Bearbeitung bzw. dem Reinigen durch das Palettentransportfahrzeug zur Meßstation transportiert. Bei belegtem Meßroboter erfolgt eine Zwischenspeicherung des fertigbearbeiteten Werkstücks auf einem der Werkstückpalettenabstellplätze.

Die Bilder 5 und 6 zeigen eine in ein FFS integrierte Portalmeßmaschine, die zum Schutz vor den im Fertigungsbereich herrschenden Umweltbedingungen mit einer dichten Vollkapselung versehen ist. Wie vor jedem Bearbeitungszentrum befindet sich auch vor der Meßmaschine ein Bringeplatz für die noch nicht geprüften Paletten und ein Holeplatz für die fertig geprüften Werkstücke.

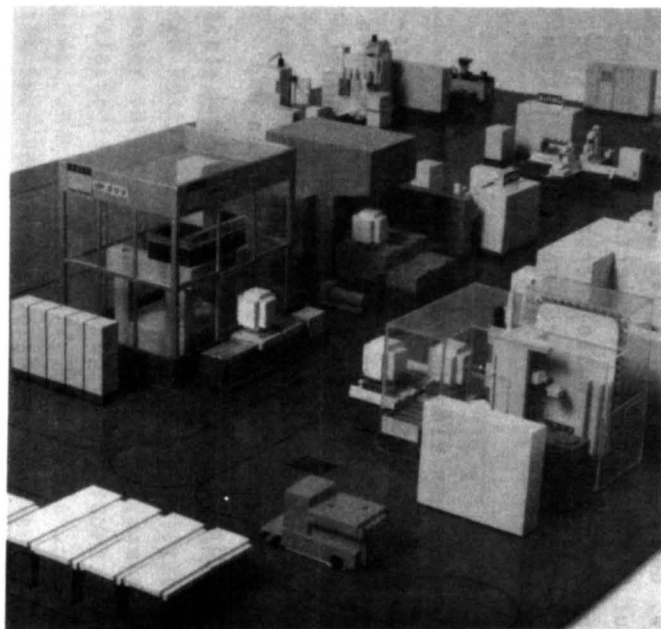


Bild 5. Modell eines realisierten FFS mit integrierter Portalmeßmaschine in gekapselter Ausführung und induktiv gesteuertem Palettentransportsystem

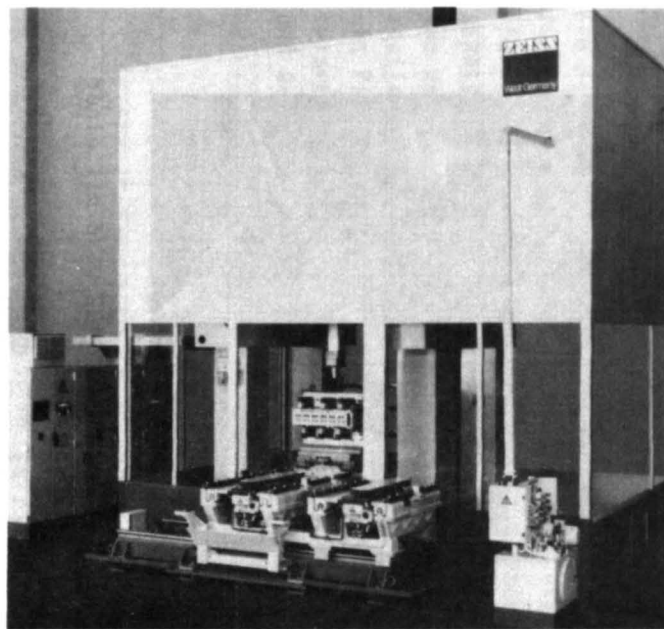


Bild 6. Gekapselte Portalmeßmaschine mit einem Bringe- und einem Holeplatz

5. Datenverbund und Qualitätsregelung im FFS

Den Rechnerverbund im FFS zeigt Bild 7. Die zentrale Leit- und Schaltstelle im FFS ist die Systemsteuerung (Zellenrechner). Sie dient der Steuerung, Koordination und Überwachung aller Funktionsabläufe. Hierzu gehört die Lagerortführung für die Werkstücke, die Ermittlung der Fahrpläne für das Werkstückpalettenfahrzeug (HHG 1) mit dem Ziel, die Auslastung der einzelnen Maschinen des FFS zu optimieren. Bei Einbindung eines KMG in den automatischen Werkstückfluß erweitern sich diese Aufgaben.

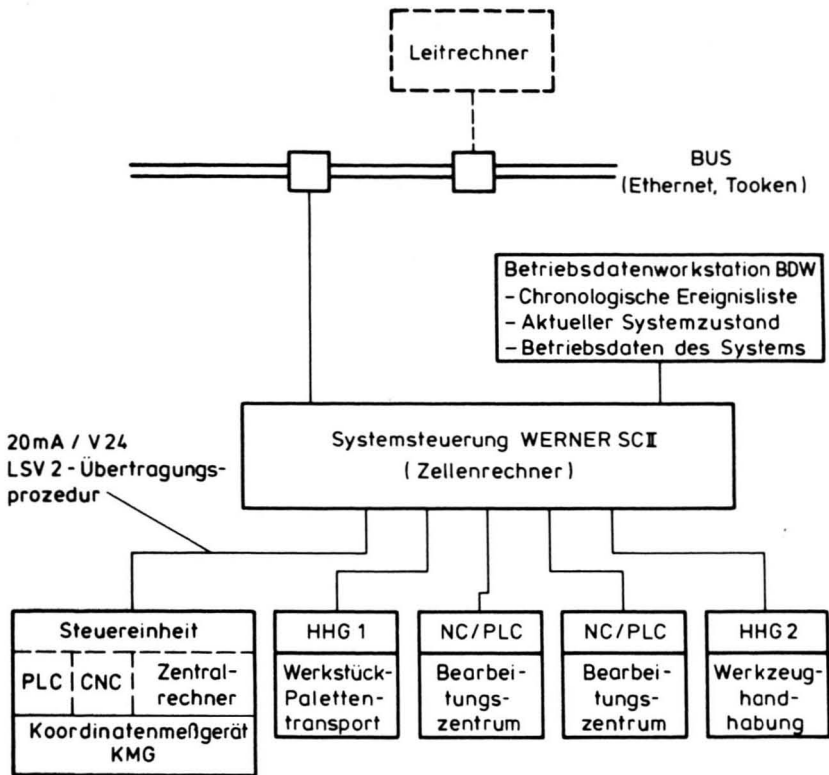


Bild 7. FFS-Rechnerverbund

Vor dem Start eines Bearbeitungsauftrages erfolgt die Prüfung der Verfügbarkeit der benötigten Werkzeuge und NC-Programme sowie die Abfrage der im KMG verfügbaren Meßprogramme. Zu den erweiterten Handlungen des Bedieners am Bildschirmterminal gehört die Eingabe des Prüfauftrages mit einer Kennzeichnung, welche Werkstücke zu prüfen sind. Weiterhin muß definiert werden, ob eine Komplettvermessung oder nur eine Teilvermessung des Werkstücks durchgeführt werden soll.

Die Zuordnung der zu vermessenen Paletten und der Transport der Paletten zur Meßmaschine und später zur Ausgabestation werden dann für den gesamten Bearbeitungsauftrag vom Zellenrechner verwaltet. Er kennt auch den aktuellen Status des KMG. Die Zuordnung des Meßprogramms zum Bearbeitungsauftrag sowie der Programmstart erfolgt ebenfalls vom Zellenrechner.

Die reine meßtechnische Datenverarbeitung, wie Soll-Istwert-Vergleich, Mittelwertbildung, Trendanalyse geschieht im Zentralrechner der Meßmaschinensteuerung.

Ausgangssignale des KMG an den Zellenrechner sind die Meldungen "Gut", "Kritisch", "Ausschuß", wobei die Meldung "Kritisch" das Erreichen der oberen Toleranzgrenze bzw. erforderliche Nacharbeit signalisiert. Bei Probebearbeitungen ist darüber hinaus die Darstellung einzelner Meßergebnisse erforderlich.

Die Meldungen dienen der Information des Bedieners am Auf- und Abspannplatz bzw. werden in einem geschlossenen Regelkreis zur Errechnung von Stellgrößen herangezogen (Bild 8).

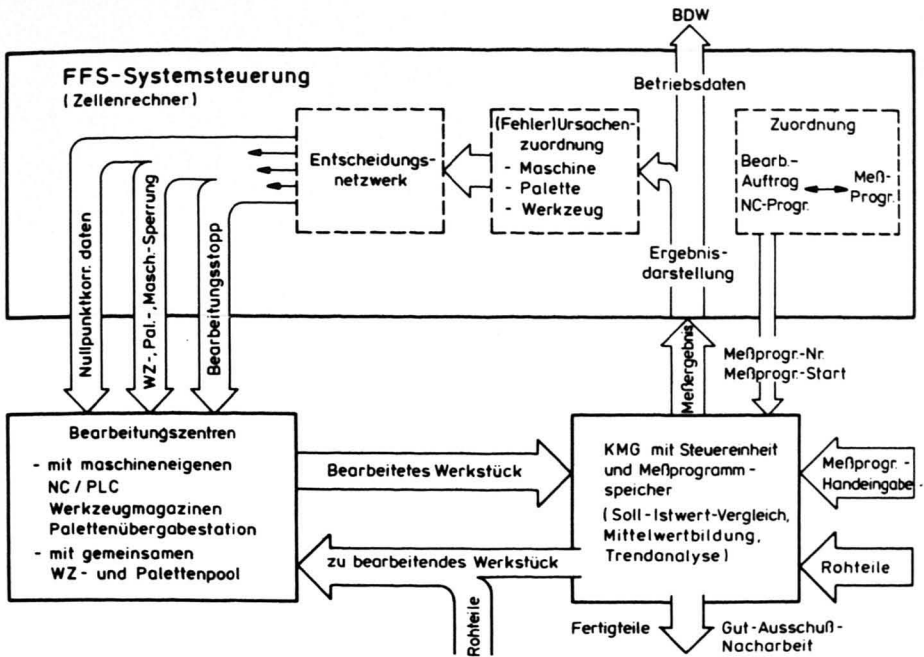


Bild 8. Qualitätsregelkreis

Gutmeldungen werden von der Betriebsdaten-Werkstation für die statistische Auswertung und Dokumentation verarbeitet.

Kritisch- und Schlechtmeldungen dagegen lösen eine Abbruchstrategie im Zellenrechner aus und bewirken eine entsprechende Diagnosemeldung. Da unbekannt ist, welche genauen Umstände (von technisch-physikalisch mehreren Möglichkeiten) ursächlich den Werkstückzustand "Kritisch" oder "Schlecht" erzeugt haben, werden alle zu dem betreffenden Auftrag gehörenden, noch im System befindlichen Werkstücke entsprechend einer vorgegebenen Strategie behandelt.

Ist ein Werkzeug Ursache für diesen Vorgang, so stellt sich das nach seinem nächsten Einsatz heraus. Voraussetzung dafür ist ein Vergleich der Werkzeuge des abgebrochenen Bearbeitungsauftrages mit dem Werkzeugsatz der Bearbeitung, bei der erneut Kritisch- oder Schlechtmeldung erfolgte. Der Eingriff zum Weiterbearbeiten des Auftrages erfolgt manuell durch den Bediener. Dessen individuelle Beurteilung ist erforderlich, weil mehrere gleiche Werkzeuge in den Systemaufträgen bzw. mehrere aufeinanderfolgende Werkzeuge Ursache für Störmeldungen und Auftragsabbruch sein können.

Ist eine bestimmte Maschine, Vorrichtung oder Palette Ursache für den Abbruch, so ist der Ablauf analog zu dem beschriebenen Vorgang mit den Werkzeugen und muß ebenfalls durch den Bediener beurteilt werden. Die betreffende Maschine bzw. Vorrichtung wird in diesem Fall durch den Zellenrechner automatisch gesperrt und durch den Bediener nach Überprüfung und Behebung der Ursache wieder freigegeben.

Bei Einsatz des KMG zur Ermittlung von unterschiedlichen Gußaufmaßen bzw. Rohlingslagen in der Vorrichtung werden die ermittelten Werte an den Zellenrechner und von dort an die entsprechende Bearbeitungsmaschine als Korrekturwerte übertragen.

## 6. Wirtschaftliche Aspekte der Integration von KMG in FFS

Die prozeßnahe Prüfung durch die Integration der Meßmittel in den automatischen Fertigungsablauf ermöglicht vor allem sehr kurze Reaktionszeiten im Störfalle. Lange Unterbrechungen des Automatikbetriebes und Ausschußproduktion können vermieden werden, da mit Trendanalysen bereits vor Erreichen der Toleranzgrenzen reagiert werden kann. Dieser Aspekt gewinnt an Bedeutung, je größer die Aus-

schußgefahr in Abhängigkeit der Bearbeitungsproblematik und Qualitätsanforderung ist und je höher die kalkulatorischen Maschinenstundensätze bzw. Systemkosten bei Produktionsausfall zu Buche schlagen würden.

Ein weiterer Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit bei Integration von KMG's in FFS ergibt sich daraus, daß die Qualitätsprüfung außerhalb der Bearbeitungsmaschinen erfolgt. Dadurch steht die Maschinennutzungszeit in vollem Umfang für die Produktion zur Verfügung. Die Dauer der Qualitätsprüfung beeinflusst die Teilekosten somit nicht.

Es entfallen ferner Kosten für den Transport, die Handhabung und die Organisation gegenüber der traditionellen, prozeßfernen Qualitätssicherung in einem speziellen Prüfbereich. Ebenfalls reduzieren sich die anteiligen Personalkosten je Prüfvorgang. Vor allem aber ergeben sich insgesamt drastisch kürzere Durchlaufzeiten, deren wirtschaftliche Bedeutung mit den gleichen Maßstäben zu messen und zu bewerten ist wie die der Flexibilität.

#### Schrifttum:

- Herzog, K.: Zukunft des Messens in der flexiblen Fertigung. Feinwerktechnik & Meßtechnik 92 (1984) H.3
- Hobrecker, E.: Meßroboter in der Anwendung. wt-Z. ind. Fertigung 76 (1986) S. 177-180
- Kampa, H.: Stand der Fertigungstechnik. wt-Z. ind. Fertigung 76 (1986) S. 181-186.
- Breyer, K.-H.: Integration von Koordinatenmeßgeräten in flexible Fertigungssysteme. Werkstatt und Betrieb 118 (1985) H. 9, S. 595-598.