

In Stufen auszubauendes flexibles Fertigungssystem zum Bohren und Fräsen

Von Helmut Hammer und Uwe Heisel, Berlin

Durch den Einsatz flexibler, automatisierter Fertigungssysteme zum Bohren und Fräsen sind nach Untersuchungen bei Fritz Werner Werkzeugmaschinen (Berlin) gegenüber der herkömmlichen NC-Fertigung Einsparungen von mehr als 30% erreichbar — den erhöhten Investitionsaufwand für die Automatisierungskomponenten voll berücksichtigt. Der Beitrag beschreibt ein solches flexibles Fertigungssystem, insbesondere die dafür erforderlichen Werkstückwechsel- und Werkstückspeichersysteme, den automatischen Werkzeugaustausch mit externem Werkzeugspeicherpool sowie das für das System entwickelte Steuerungs- und Überwachungssystem.

1 Einleitung

Der Einsatz flexibler Fertigungszellen und -systeme steht in unmittelbarem Zusammenhang mit einer Entwicklung in der industriellen Fertigung, die zunehmend durch häufigen Auftragswechsel, kleine Losgrößen, kurze Durchlaufzeiten, steigende Komplexität und höhere Genauigkeit der Teile sowie nicht zuletzt durch den Zwang, mit niedrigeren Kosten zu fertigen, gekennzeichnet ist. Die damit weit gefaßten Ansprüche an die Flexibilität und Wirtschaftlichkeit solcher Fertigungseinrichtungen zielen auf eine schnelle Umrüstbarkeit, eine automatische Werkstück- und Werkzeugversorgung, einen hohen Nutzungsgrad sowie auf die Entkopplung des Menschen von der Maschine hinsichtlich Arbeitsrhythmus, Arbeitszeit und Arbeitsplatz.

Für die Realisierung flexibel automatisierter Fertigungseinrichtungen ist ferner von Bedeutung, daß hohe Investitionsmittel erforderlich sind, die oftmals stufenweise erwirtschaftet werden müssen. Deshalb sollte auch ein sukzessiver Ausbau des automatisierten Bearbeitungssystems möglich sein. Er bedingt

einen Aufbau, der von einem geschlossenen Gesamtkonzept und von kompatiblen Systemkomponenten ausgeht. Dabei kommt der Leistungsfähigkeit des Steuerungs-, Informations- und Überwachungssystems besondere Bedeutung zu. Die heute bestehenden Möglichkeiten werden anhand von Ausführungsbeispielen im folgenden aufgezeigt.

2 Systembeschreibung und Optimierungsmöglichkeiten

Für Bearbeitungszentren sind der konstruktiv vorgesehene automatische Werkstück- oder Palettenwechsel sowie der selbsttätige Werkzeugwechsel aus maschinenverbundenen Werkzeugmagazinen kennzeichnend. Durch beides wird einerseits der Automatisierungsgrad erhöht, und andererseits werden die Nebenzeiten verringert. Dabei engt aber die begrenzte Speicherkapazität heute in zunehmendem Maße die erreichbare Flexibilität und die Nutzungsmöglichkeit des Bearbeitungssystems ein. Die Begrenzung kann jedoch durch die Kopplung der Maschinen mit geeigneten Transport-, Handhabungs- und Lagersystemen weitgehend aufgehoben werden.

Bei horizontalen Bearbeitungszentren mit automatischem Palettenwechsel hat sich folgende Grundkonzeption bezüglich der Achsaufteilung am besten bewährt: Die Bewegung in Z-Richtung wird vom Ständer, die in X-Richtung vom Palettentisch und die in Y-Richtung vom Spindelstock ausgeführt. Das in **Bild 1** gezeigte Bearbeitungszentrum ist in dieser Weise konzipiert und für eine Tischaufspanfläche von 630 mm × 630 mm ausgelegt. In gleicher Ausführung sind auch Baugrößen mit Palettentischen 800, 1000 und 1200 mm lieferbar. Die Maschinen haben ein ortsfestes Tellermagazin mit 40 Aufnahmeplätzen, das auch während der Hauptzeit der Maschine für einen gezielten Werkzeugtausch zugänglich ist. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die neu entwickelte automatische Werkzeugversorgung aus einem externen Werkzeugspeicher.

Innerhalb der Maschine werden die Werkzeuge mit einem Doppelgreifer in 3 s zwischen Magazin und Spindel gewechselt. Die Span-zu-Span-Zeit beträgt zwischen 11 und 13 s. Diese Zeit, multipliziert mit der Anzahl der für die Bearbeitung eines Werkstücks erforderlichen Werkzeugwechsel, addiert sich zusam-

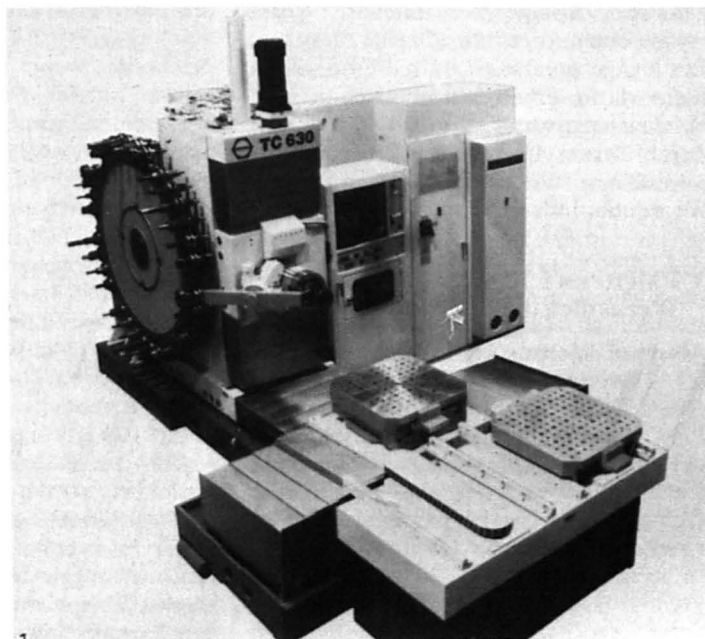


Bild 1. Horizontales Bearbeitungszentrum Fritz Werner TC 630 mit Palettenwechsler.

In Stufen auszubauendes flexibles Fertigungssystem zum Bohren und Fräsen

men mit der Wechselzeit des Werkstücks zur Nebenzeit, innerhalb der die Maschine unproduktiv ist. Verständlicherweise wird deshalb versucht, die Wechselzeiten für Werkstücke und Werkzeuge so gering wie möglich zu halten. Diesem Bestreben kommt um so größere Bedeutung zu, je geringer die Bearbeitungszeit und je höher die Anzahl der für ein Werkstück benötigten Werkzeuge ist.

Außerhalb der Maschine ist unter dem Gesichtspunkt der Produktivität als zeitbestimmendem Faktor vor allem der Auftragswechsel zu sehen. Er macht im allgemeinen das Austauschen der Spannvorrichtungen für die Werkstücke wie auch das Wechseln des im Tellermagazin gespeicherten Werkzeugsatzes erforderlich. Die Bereitstellung auf Paletten gespannter Werkstückrohlinge und vorgerüsteter Werkzeuge im maschinennahen Bereich trägt insbesondere bei häufigem Auftragswechsel, kleinen Losgrößen und großer Auftragswiederholhäufigkeit zur Minimierung der organisatorisch bedingten Maschinenstillstandszeiten bei.

Sofern zudem ein automatischer Werkzeugaustausch zwischen einem externen Speicher und dem Tellermagazin der Maschine während der Hauptzeit möglich ist, läßt sich die Stillstandszeit bei Auftragswechsel auf ein Minimum reduzieren. In diesem Fall muß ein der NC-Steuerung vorgeschalteter Rechner auf alle Werkzeugdaten sowohl aus den NC-Programmen als auch auf die Daten der in dem Tellermagazin und in der externen Ablage befindlichen Werkzeuge einen direkten Zugriff besitzen. Ein NC-gesteuertes Handhabungssystem kann dann einen automatischen und auftragsbezogenen Werkzeugaustausch durchführen. Der Umtausch von verschlissenen Werkzeugen ist auf diese Weise ebenfalls selbsttätig möglich.

3 Palettenwechselsysteme und Werkstückspeicherung

Als erste Ausbaustufe in Richtung flexibler Automatisierung ist der heute bereits übliche Palettenwechsler mit zwei Plätzen anzusehen. Es wird zunehmend der von der Maschine angeordnete Rechts-links-Wechsler bevorzugt, **Bild 2** (Bildteil a), da er auch das Bindeglied zu einem Palettenpool oder für die Verkettung mehrerer Maschinen über einen Palettenwagen bildet.

Bei der Ausführung von Palettie-

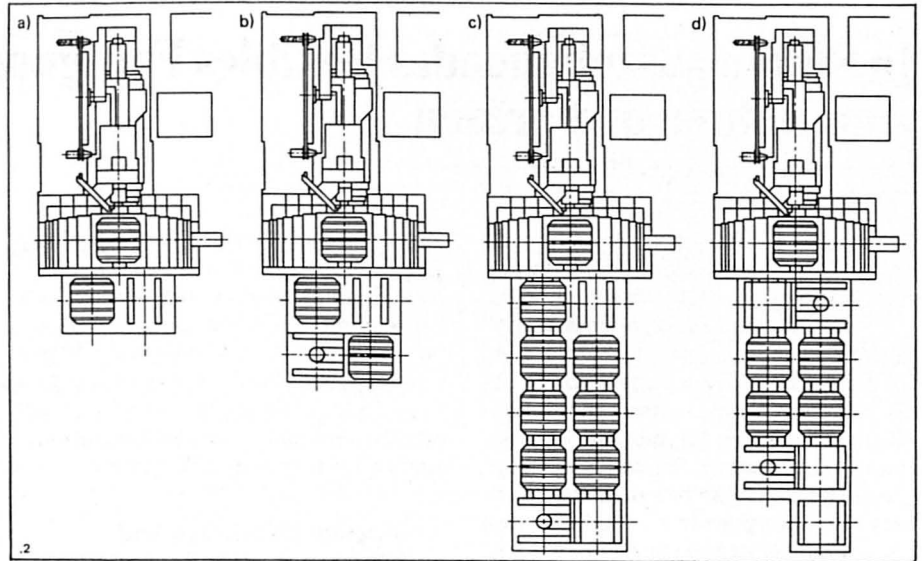


Bild 2. Beispiele für Palettsysteme.

a Rechts-links-Palettenwechsler
b Palettsystem für drei Paletten
c Palettenpool mit Zwangsumlauf

d Palettenpool mit wahlfreiem Zugriff und separatem Spann- und Rüstplatz

rungssystemen bestehen die in den Bildteilen 2b bis 2d dargestellten Variationsmöglichkeiten, aufbauend auf drei standardisierten Grundeinheiten. Das Ausführungsbeispiel b ist für Einsatzfälle geeignet, bei denen mit drei Paletten gearbeitet werden soll. Auf diese Weise ist es möglich, drei Aufspannungen eines Werkstücks unmittelbar nacheinander abzuarbeiten. Das Beispiel c stellt ein geschlossenes Palettenmagazin mit mehreren Pufferplätzen dar, wobei der Umlauf über den Palettenwechsler und die Maschine geht. Damit ist eine feste Bearbeitungsreihenfolge vorgegeben, durch die die Flexibilität allerdings erheblich eingeschränkt wird. Diese Lösung hat auch Nachteile, wenn viele Paletten bewegt werden müssen. Gegenüber den bekannten Palettenumlaufeinrichtungen in runder oder ovaler Ausführung hat sie jedoch Vorteile in bezug auf Ausbaubarkeit und Platzbedarf.

Das Beispiel d in Bild 2 zeigt eine Lösung mit zwischengeschalteter Palettenwechsleinrichtung. Dadurch besteht ein wahlfreier Zugriff zu jeder Einzelpalette. Dieser Aufbau ist gegenüber dem Beispiel c zwar kostenaufwendiger, dafür sind aber die Palettenwechselzeiten in der Regel kürzer. Die Anzahl der zu puffernden Paletten ist auch bei diesen Speichersystemen begrenzt, da große Massen bewegt werden müssen.

Bei Palettenpuffern mit hohem Fassungsvermögen für mittlere und große Werkstückgewichte, die man insbesondere für den bedienfreien Betrieb in der

3. Schicht benötigt, werden heute vorwiegend stationäre Speicherplätze und programmierbare Palettenwagen verwendet. Dadurch sind auch die Verkettung mehrerer Maschinen und die zentrale Versorgung aus einem gemeinsamen Palettenspeichersystem möglich. Die Flexibilität liegt hierbei vor allem in der Ausbaufähigkeit des Transport- und Speichersystems. Zur Anwendung kommen schienengebundene oder induktiv geführte Flurförderfahrzeuge, deren Fahrwege mit geringem Aufwand verlängert sind. Von Vorteil ist hierbei vor allem auch, daß die Einzelmaschinen gegenseitig ersetzbar sind, da sie vom gleichen Werkstückbeschickungssystem versorgt werden.

In **Bild 3** ist der Layout-Plan einer flexiblen Fertigungszelle mit zwei Bearbeitungszentren dargestellt, die mit einem schienengebundenen Flurförderfahrzeug verkettet sind. Das System kann nach beiden Seiten durch Verlängerung der Schienenstränge und Erweiterung der Palettenabstellplätze ausgebaut werden. Im vorliegenden Fall sind 20 Palettenpufferplätze vorgesehen, die von einem zentralen Auf- und Abspannplatz sowie einem separaten Umrüstplatz beschickt werden.

4 Automatischer Werkzeugaustausch und rüstzeitfreier Auftragswechsel

Durch die Bearbeitungsaufgabe werden die Art und die Anzahl der Werkzeuge

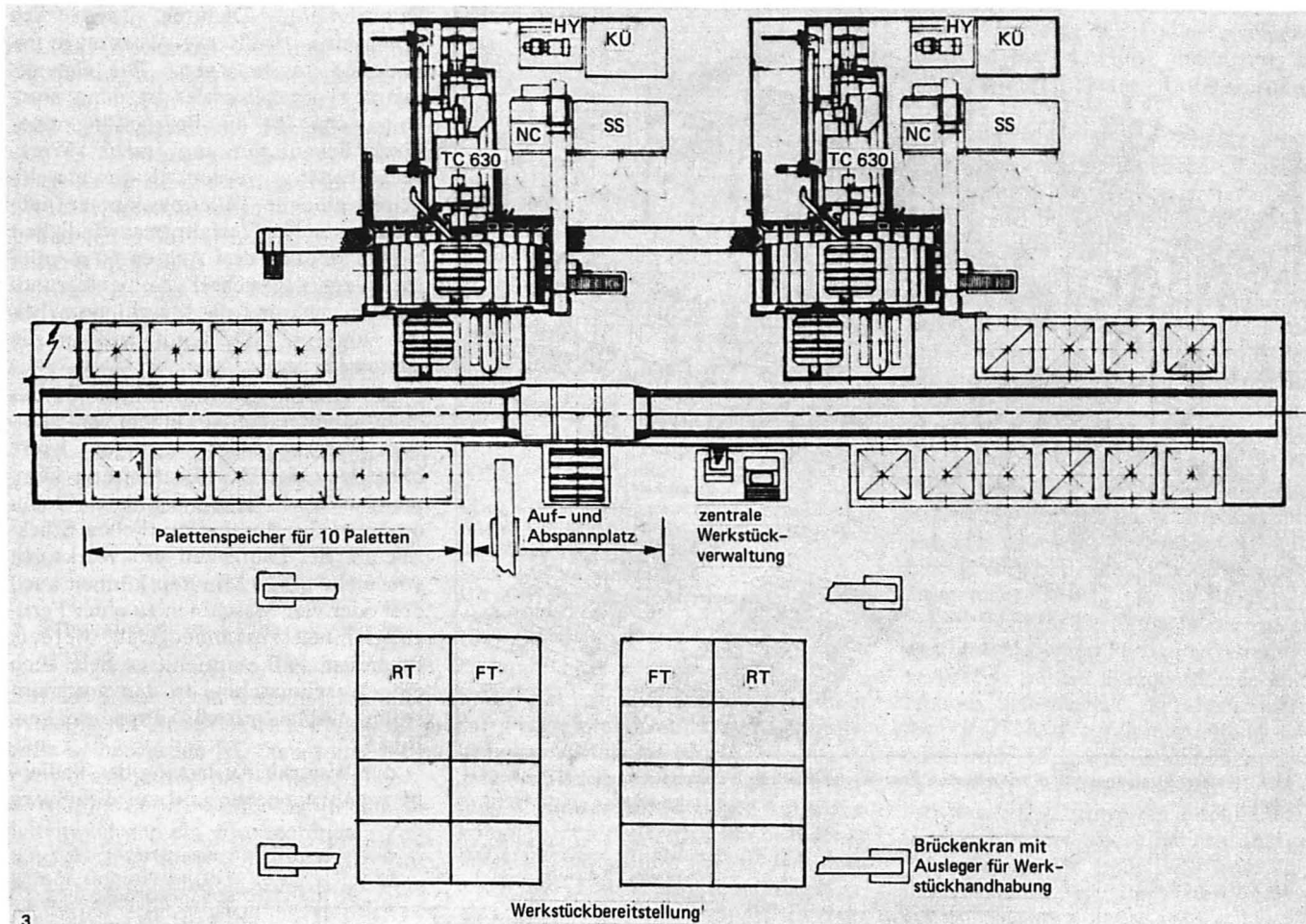


Bild 3. Flexible Fertigungszelle mit zwei Bearbeitungszentren Fritz Werner TC 630 und Verkettung durch schienengebundenes Flurförderfahrzeug.
 HY Hydraulikanlage
 KÜ Kühlmittelanlage
 SS Schaltschrank
 RT Rohteile
 FT Fertigteile

bestimmt. Eine durch simultanes Bearbeiten mehrerer Aufträge bedingte laufende Änderung der Bearbeitungsaufgabe erfordert zwangsläufig den häufigen Austausch des auftragsbezogenen Werkzeugsatzes. Um das zu vermeiden, werden zunehmend die maschinenzugeordneten Werkzeugmagazine, soweit technisch möglich, vergrößert. Kettenmagazine bieten diesbezüglich die günstigsten Voraussetzungen. Aufgrund der Forderung nach möglichst kurzen Zugriffzeiten ist die Magazinkapazität allerdings meist auf 60 Aufnahmeplätze beschränkt. Hinzu kommt, daß die erheblichen Mehrkosten für die Magazin-erweiterung und die Werkzeuge die damit erreichbare Verlängerung der umrüstfreien Laufzeiten meist nicht rechtfertigen.

Der flexible Werkzeugaustausch zwischen dem maschinenintegrierten Magazin und einem externen Speichersystem bietet sich als Problemlösung an. Er ist

aber nur dann sinnvoll und auch wirtschaftlich, wenn mehrere Maschinen von dem gleichen Werkzeugpool versorgt werden können. Ein NC-gesteuertes Handhabungssystem übernimmt in diesem Fall den *gezielten* Werkzeugaustausch, wobei die Anweisungen und die Ablauffolgen von einem übergeordneten „Zellenrechner“ vorgegeben und koordiniert werden. Dieser verwaltet das gemeinsame Werkzeuglager und hat direkten Zugriff zu den maschinenverbundenen Einzelmagazinen und den NC-Programmen mit den Werkzeugangaben. Die Werkzeugdatei enthält auch alle technologischen und geometrischen Informationen.

In der Anlage gemäß Bild 4 ist die zuvor beschriebene flexible Duplexzelle um ein solches Werkzeughandhabungssystem und einen gemeinsamen Werkzeugpool ergänzt worden. Der Pool besteht aus fünf externen stationären Werkzeugspeichern. Jeder dieser Spei-

cher bietet für 35 Werkzeuge (ISO-50) Platz. Sie sind horizontal gelagert und werden am Bund der Aufnahme gehalten. Mit dem Portalgreifer können aus diesem Speicher beide Maschinen beschickt werden. Der Speicherplatz läßt sich nahezu beliebig ausbauen. Die maximale Werkstücklänge beträgt 600 mm. Für Ausdreh- und Messerköpfe bis zu einem Durchmesser von 315 mm ist die obere Ablageebene reserviert. Die Anzahl der erforderlichen Werkzeuge richtet sich nach dem Teilespektrum und der notwendigen Anzahl von Ersatzwerkzeugen. Sie läßt sich mit Hilfe eines Simulationsprogrammes vorher bestimmen.

Das Dreiachsen-gesteuerte Handhabungsgerät ist als selbsttragende Doppelportalkonstruktion ausgeführt. Dadurch bleibt der Boden an der Maschinenhin-terseite frei. Der vertikal bewegte Greiferarm trägt seinerseits den um eine 45°-Achse schwenkbar angeordneten

In Stufen auszubauendes flexibles Fertigungssystem zum Bohren und Fräsen

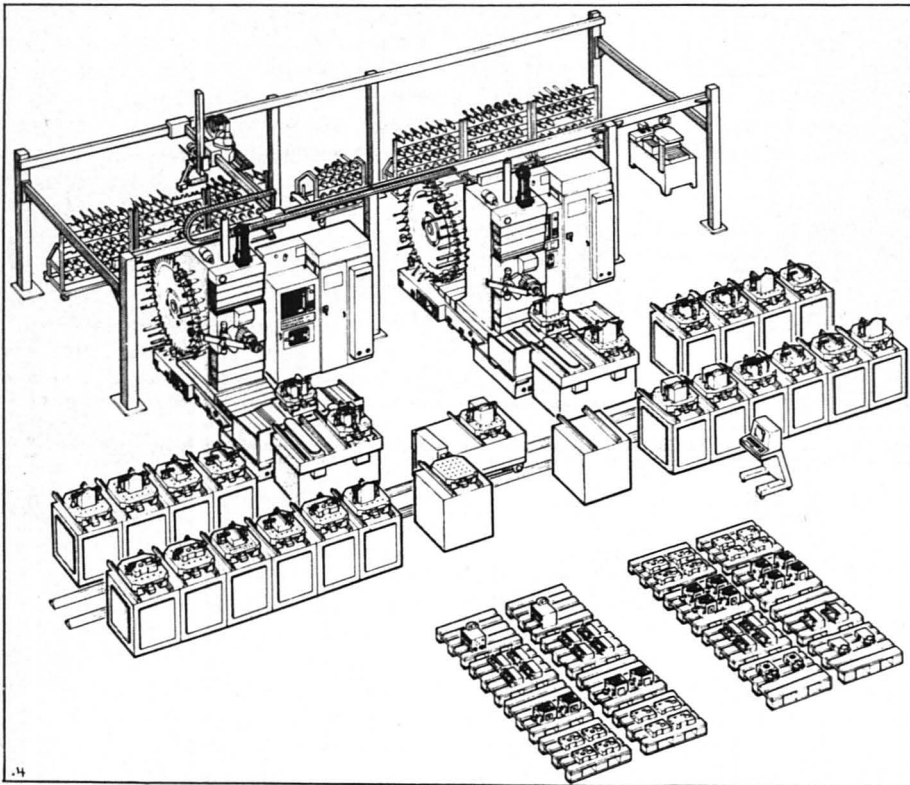


Bild 4. Flexibles Fertigungssystem mit automatischer Werkstück- und Werkzeugversorgung (Fritz Werner, Berlin).

Doppelgreifer. Dadurch lassen sich gleichzeitig jeweils zwei Werkzeuge unmittelbar austauschen. Die letztgenannte Vorgehensweise ist dann sinnvoll, wenn für die Bearbeitung einer Werkstückaufspannung mehr Werkzeuge benötigt werden, als das maschinenverbundene Tellermagazin aufnehmen kann. Die Verfahrensgeschwindigkeit beträgt in allen drei Achsen 60 m/min. Der Werkzeugwechsel geschieht grundsätzlich, während die Maschinen arbeiten, und er fällt damit voll in die Hauptzeit.

Die Anzahl der Maschinen, die das Handhabungsgerät aus einem gemeinsamen Werkzeugpool versorgen kann, hängt von den zur Bearbeitung kommenden Werkstücken und dabei besonders von der durchschnittlichen Stückzeit ab. Bei Laufzeiten pro Werkstück von mehr als 20 Minuten können auch drei oder vier Maschinen zu einer Fertigungseinheit zusammengefaßt werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, auch eine Waschmaschine in den automatischen Ablaufprozeß einzubeziehen, Bild 5.

Zur besseren Auslastung des Bedienpersonals einerseits und zur Erhöhung

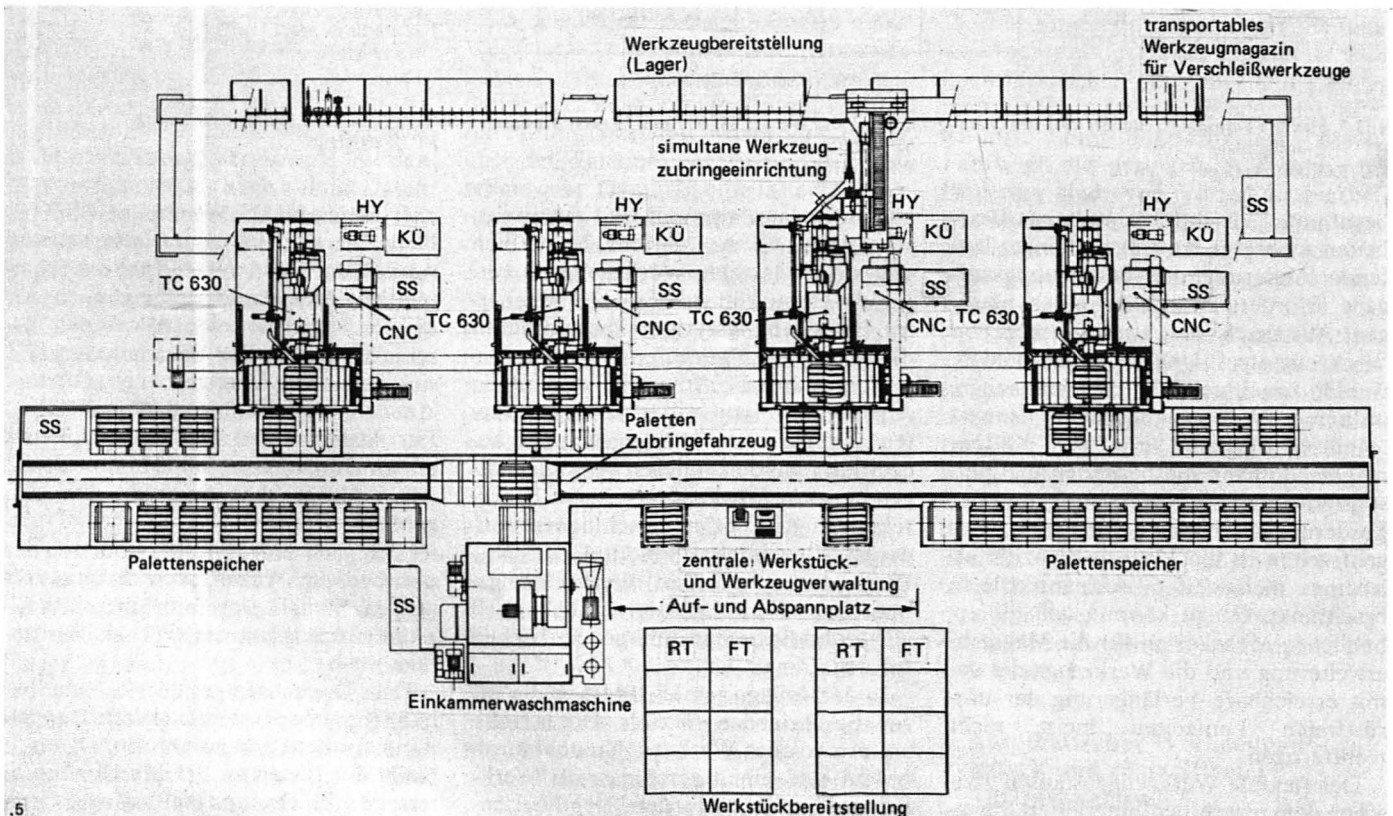


Bild 5. Flexibles Fertigungssystem mit vier Horizontalzentren, automatischer Werkzeug- und Werkstückversorgung sowie integrierter Teilereinigung (Fritz Werner, Berlin). Verwendete Abkürzungen siehe Legende zu Bild 3.

der Flexibilität andererseits ist es sinnvoll, die Werkzeugvermessung und -bereitstellung in das System zu integrieren. Der Zellenrechner wurde deshalb bereits so programmiert und ausgerüstet, daß das Ablegen verschlissener Werkzeuge automatisch an einem besonderen Speicherplatz und umgekehrt das Übergehen neuer Werkzeuge ebenfalls selbsttätig erfolgt. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird ein Klebeetikett mit Klartext und Strichcode-Aufdruck durch einen an den Zellenrechner angeschlossenen Drucker erstellt. Das Identifizieren der ausgetauschten Werkzeuge geschieht mit einem Lesestift. Die mit Hilfe eines Einstellgerätes ermittelten geometrischen Daten werden direkt in die Werkzeugdatei und in den Datenspeicher der NC-Steuerungen übertragen.

5 Steuerungs- und Überwachungssystem

Für das Steuern und Koordinieren aller Vorgänge in einer flexiblen Fertigungszelle ist neben den NC-Steuerungen für die Maschine und das Handhabungssystem sowie der PC-Steuerung für den Palettenwechsler ein übergeordneter Zellenrechner erforderlich, **Bild 6**. Er wird in eine Organisationsebene und eine Maschinenebene aufgeteilt. An den Organisationsrechner direkt angeschlossen sind ein Bildschirmgerät mit Bedienkonsole sowie das Werkzeugvoreinstellgerät, ein Stanzer und Leser für Lochstreifen und der Strichcode-Drucker und -Leser. Es werden die NC-Bearbeitungsprogramme für das Werkstückspektrum und die Werkstückdatei verwaltet sowie das Werkzeuglager mit variabler Platzcodierung geführt. Ein komfortabler

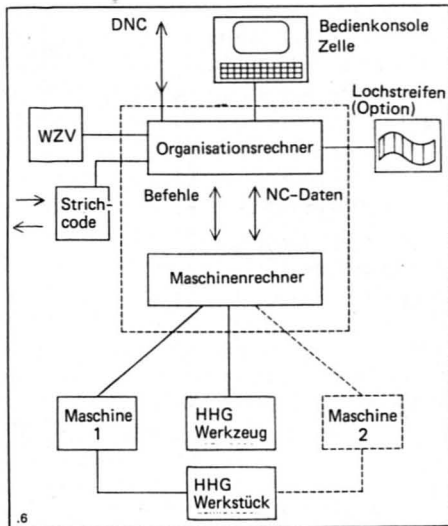


Bild 6. Aufbau des Zellenrechners zur Steuerung einer Duplexzelle (DFZ 630).
WZV Werkzeugvermessung
OR, MR Organisations- beziehungsweise Maschinenrechner
HHG Handhabungsgerät

Editor mit graphischer Simulation steht zur Programmkorrektur und -optimierung zur Verfügung, **Bild 7**.

Die Auftragerfassung und -verwaltung ist ein weiterer wichtiger Aufgabenkomplex, den der Organisationsrechner selbsttätig durchführt. Wenn beispielsweise die komplette Tagesproduktion vorgegeben wird, ermittelt der Rechner die Auftragsablaufreihenfolge und die Werkzeugverfügbarkeit unter Berücksichtigung der Einsatzzeit. Sofern Werkzeuge fehlen oder die Standzeit nicht ausreicht und keine Ersatzwerkzeuge zur Verfügung stehen, wird dies auf dem Bildschirm angezeigt, **Bild 8**. Erst wenn die Bereitstellung der fehlenden Werkzeuge im Rechner registriert ist, erfolgt die Freigabe zur Bearbeitung der betref-

fenden Aufträge. Dies alles geschieht, während die Maschine produziert, so daß hierdurch keine Unterbrechung eintritt.

Im Maschinenteil des Zellenrechners werden die Informationen des Organisationsrechners zur Übertragung an die CNC-Steuerung aufbereitet und zeitlich geordnet. Er übernimmt die gesamte Prozeßsteuerung, indem er die Datenein- und -ausgabe in beiden Richtungen ablaufgerecht und aufgabenbezogen koordiniert und überwacht, einschließlich der Steuerung aller Peripheriegeräte im Automatikbetrieb. Der Zellenrechner stellt mit dem Organisations- und Maschinenteil damit eine voll funktionsfähige, in sich geschlossene autarke Steuereinheit für eine flexible Fertigungszelle dar. Die manuelle Datenein- und -ausgabe geschieht dialoggeführt und werkstattgerecht.

Um mehrere Fertigungszellen zu einem geschlossenen Fertigungssystem zu verbinden, ist ein übergeordneter Leit-rechner erforderlich. Er dient meist auch zur NC-Programmerstellung und zur NC-Programmverwaltung. Es sind mehrere Bildschirmgeräte anschließbar. Übergeordnete Koordinationsfunktionen, wie die Werkstückfluß- und Auftragsablaufplanung, die Verwaltung eines zentralen Werkzeuglagers sowie die Betriebsdatenerfassung einschließlich Erstellen von auftrags-, maschinen- und personenbezogenen Auswertungen, gehören ebenfalls zu den Aufgaben des Leitrechners. Er wird üblicherweise direkt mit der hauseigenen zentralen Rechenanlage verbunden, **Bild 9**.

Ein bedienarmer oder bedienfreier Automatikbetrieb ist allerdings nur möglich, wenn entsprechende Überwa-

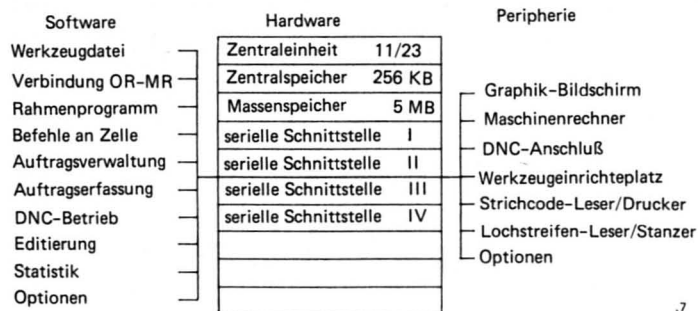


Bild 7. Aufbau des Organisationsrechners.

Bild 8. Bildschirmdialog bei Auftragsingabe mit Anzeige der Werkzeugfehlteiliste.

DIAGNOSE: -----

FUNKTION: AUFTRAGSEINGABE

ANZEIGEN BELEGEN

EINGEBEN

AUFTR.NR. " "

TEIL VORH. (NR.)

NC-PROGRAMM NR. %

WERKZEUGE (VORHANDEN ODER FEHLTEILLISTE)

BELEGEN ODER GEPRUEFT ABLEGEN

In Stufen auszubauendes flexibles Fertigungssystem zum Bohren und Fräsen

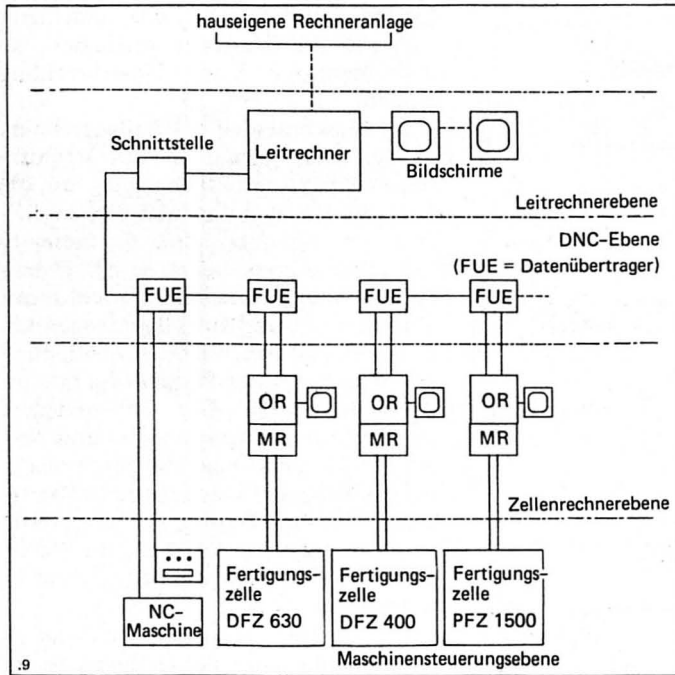
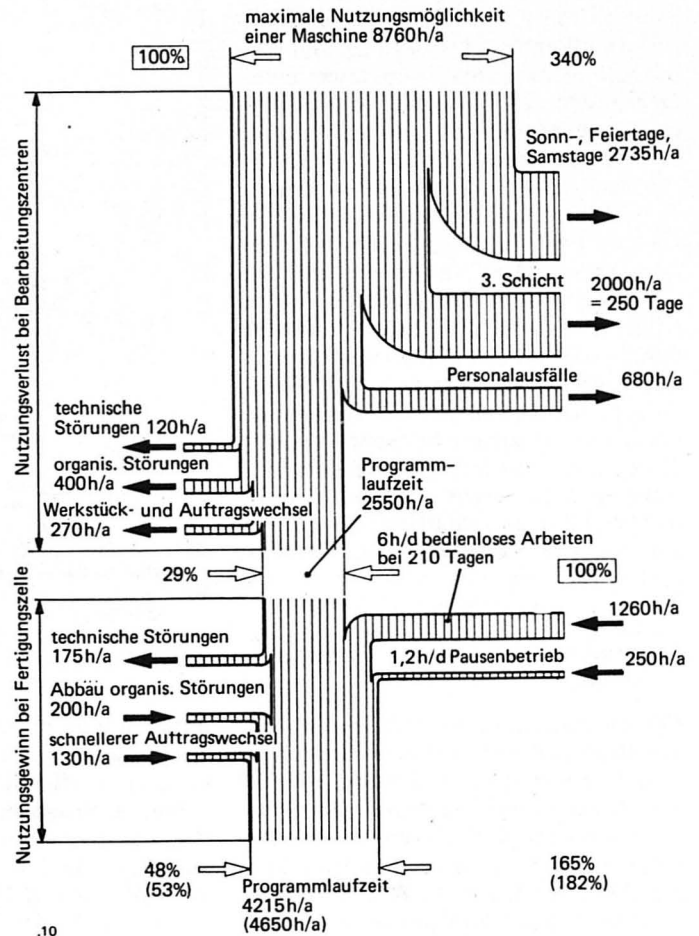


Bild 9. Rechnerverbundsystem zur Steuerung flexibler Fertigungssysteme.

Bild 10. Nutzungszeitminderung beim Einsatz von Bearbeitungszentren und Nutzungsgewinn durch flexible Automatisierung [1].



chungseinrichtungen vorhanden sind. So können durch eine integrierte automatische Werkzeugverschleiß- und Werkzeugbruchüberwachung ein rechtzeitigiger Werkzeugaustausch und die Vermeidung von Folgeschäden erreicht werden. Als Sensoren kommen mit Dehnungsmeßstreifen bestückte Kraftmeßlager in der Arbeitsspindel zum Einsatz, mit denen sich durch eine sehr hohe Meßempfindlichkeit auch kleine Bearbeitungskräfte getrennt nach Koordinaten erfassen lassen. Eine rechnergesteuerte Überwachungselektronik speichert für den jeweiligen Bearbeitungsvorgang die dem Werkzeug zugeordneten Grenzwerte, interpretiert die aufgenommenen Meßsignale und löst selbstständig unterschiedliche Maßnahmen aus.

Bei Verschleißanzeige wird der Austausch des betreffenden Werkzeugs gegen ein Ersatzwerkzeug nach Beendigung des Schnittes veranlaßt. Der Bruchalarm bewirkt einen definierten Vorschub- und Spindelstopp. Das damit unterbrochene Bearbeitungsprogramm wird bei diesem Werkstück nicht weiter

fortgesetzt. Auf diese Weise läßt sich verhindern, daß beispielsweise steckengebliebene Werkzeugbruchteile wie abgebrochene Spiral- oder Gewindebohrer das eingewechselte Ersatzwerkzeug sofort wieder zerstören.

Wichtige Überwachungsfunktionen können auch von einem auswechselbaren Meßtaster wahrgenommen werden. Neben dem Messen von Bohrungen und Bezugsflächen ist beispielsweise die Werkstückidentifizierung und -positionierung durch Anfahren mehrerer Kontrollpunkte möglich. Daraus lassen sich auch eine Werkstück-Nullpunkt-Korrektur und eine Koordinatentransformation direkt ableiten. Auch können mit dem Meßtaster fortlaufend die Ist-Werte einer mit einem NC-Ausdrehkopf erzeugten Bohrung erfaßt werden. Bei Erreichen der Toleranzgrenze geschieht die Korrektur automatisch und wird dann beim nächsten Werkstück wirksam. Sofern eine unmittelbare Meßsteuerung erforderlich ist, muß der Meßtaster fest angeordnet und auf ein Bezugsmaß justiert sein.

6 Einsatzbedingungen und Wirtschaftlichkeit

Durch den weitgehend automatisierten Fertigungsablauf tritt die Überwachungs- und Steuerfunktion des Menschen in den Hintergrund. Dafür werden ihm neue Aufgaben übertragen. Neben dem bereits erwähnten Auswechseln verschlissener Werkzeuge kann die Bedienperson auch das Aufrüsten der Werkstückpaletten mit Spannelementen übernehmen. Durch den Einsatz universeller Vorrichtungsbaukästen läßt sich eine erhebliche Senkung der auf das einzelne Werkstück entfallenden Kostenanteile infolge der Wiederverwendbarkeit der Baukastenelemente erreichen. Es ist allerdings notwendig, daß die Aufspannsituation auf einer Werkzeichnung dargestellt wird und Übersichtslisten der zu verwendenden Spannelemente zur Verfügung stehen. Beide Unterlagen sind mit Hilfe der rechnerunterstützten Konstruktion (CAD) relativ einfach und schnell zu erstellen.

Eine Senkung der Vorrichtungskosten beziehungsweise des Rüstaufwandes für

die Spanneinrichtung läßt sich auch erreichen, indem anstelle einer losweisen Fertigung unterschiedliche Werkstücke hintereinander bearbeitet werden. Dadurch ist eine wesentliche Senkung der für den bedienlosen Nachtbetrieb erforderlichen Anzahl gleicher Vorrichtungen möglich. Für jeden Auftrag oder jede Werkstückaufspannung sind meist nur noch eine oder zwei Vorrichtungen notwendig. Allerdings erfordert dieser Simultanbetrieb einen großen Werkzeugspeicher, so daß dieser Vorteil nur durch das beschriebene automatische „Werkzeugnachladen“ aus einem separaten Werkzeugpool voll genutzt werden kann.

Die höchsten Kosteneinsparungen sind durch den personalarmen oder personalfreien Betrieb in der 3. Schicht zu erreichen. Zum Beispiel läßt sich die Maschinennutzungszeit bei sechs Stunden personalfreiem Nachtbetrieb um mehr als 50% und bei voller Produktion in der 3. Schicht um 80% steigern, **Bild 10.** Bei Werkstücken mit Bearbeitungszeiten über 30 min ist der volle Nachtbetrieb durchaus möglich und anzustreben.

Ein erheblicher Abbau der Personalkosten wird im Vergleich zur herkömmlichen NC-Fertigung vor allem durch die Mehrmaschinenbedienung erreicht. Das Bedienpersonal kann auch weitere Tätigkeiten, die üblicherweise andere Funktionsstellen ausführen, übernehmen, wie beispielsweise die Bereitstellung der Spanneinrichtungen und Werkzeuge. Ein nicht unbedeutender Einsparungseffekt liegt auch in der Verringerung des Werkstattbestandes durch eine häufigere Wiederholfertigung in kleineren Losgrößen begründet. Das ist zwangsläufig die Folge des ohne jede Unterbrechung automatisch ablaufenden Auftragswechsels. Die dazu notwendige rechnergesteuerte Werkzeugbereitstellung bewirkt zudem eine wesentliche Senkung der Werkzeugkosten durch die volle Ausnutzung der Standzeit und eine erhebliche Erhöhung des Maschinennutzungsgrades durch Wegfall des manuellen Werkzeugaustausches bei Maschinenstillstand.

Die effektiv erreichbaren Einsparungen hängen maßgeblich von den Werkstücken, den Bearbeitungszeiten und dem jährlichen Stückzahlbedarf ab. Wie

hoch im einzelnen der Einsparungseffekt ist, läßt sich genau berechnen, sofern alle werkstück- und auftragsbezogenen Daten bekannt sind. Hierfür wurden Simulationsprogramme entwickelt, die auch Auskunft über die maschinelle und personelle Auslastungssituation, den Umfang des Werkzeuglagers und die Anzahl der benötigten gleichen Spannvorrichtungen geben. Eine Vielzahl bereits durchgeführter Berechnungen hat zu dem Ergebnis geführt, daß die Kosteneinsparung im Vergleich zur herkömmlichen NC-Fertigung mehr als 30% beträgt. Dabei ist der erhöhte Investitionsaufwand für die Automatisierungskomponenten und Überwachungseinrichtungen voll berücksichtigt [2].

Schrifttum

- [1] von Poblitzki, J.: Automatische Werkstück-Wechselsysteme an NC-Werkzeugmaschinen. NC-Fertigung Bd. 3 (1982) Nr. 1, S. 48/60.
- [2] Hammer, H.: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch flexible Automatisierung beim Bohren und Fräsen. Zwf Bd. 78 (1983) Nr. 2.

A 29 898