



Rolf Binder und Uwe Heisel*

Automatische Grossteilfertigung mit Bearbeitungszentren

Die besonderen technischen Merkmale neuzeitlicher Bearbeitungszentren sind der automatische Werkzeug- und Werkstückwechsel. Kennzeichnend für flexible Fertigungszellen ist darüber hinaus der vollautomatische Betrieb sowie der extrem kurze Auftragswechsel zwischen zwei Werkstücken. In diesem Beitrag werden zwei grundsätzlich unterschiedliche Bauarten von Bearbeitungszentren beschrieben sowie deren technischer und wirtschaftlicher Einsatzbereich verglichen. Die beiden Konzeptionen unterscheiden sich vor allem durch die Lage der Hauptbearbeitungsspindel, die entweder horizontal oder vertikal sein kann.

Für die Fräs- und Bohrbearbeitung prismatischer Grosswerkstücke, die allgemein durch viele komplexe Bearbeitungsgänge und kleine Stückzahlen gekennzeichnet ist, werden heute mehr und mehr CNC-gesteuerte Bearbeitungszentren eingesetzt. Die damit mögliche Komplettbearbeitung hat vor allem durch den Wegfall von Transportzeiten und Zwischenlagerungen sowie durch die Verkürzung der Durchlaufzeiten und die Verringerung der Nebenzeiten erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Besonders die Tatsache, dass man während der Hauptzeit der Maschinen die Werkstücke umspannen oder umrüsten kann, führt zu einer wesentlichen Erhöhung des Maschinennutzungsgrades. Vergleicht man Bearbeitungszentren und flexible Fertigungszellen mit den noch vielfach eingesetzten herkömmlichen Einzweck- und Universalmaschinen, so ergeben sich auch deutliche Unterschiede hinsichtlich der Personalkosten und des Platzbedarfes.

Bei der Investitionsplanung ist grundsätzlich zunächst die Wahl der Hauptbearbeitungsrichtung zu treffen. Einige Entscheidungskriterien dafür sind: Lage der Hauptbearbeitungsebenen, Werkstückformen, Werk-

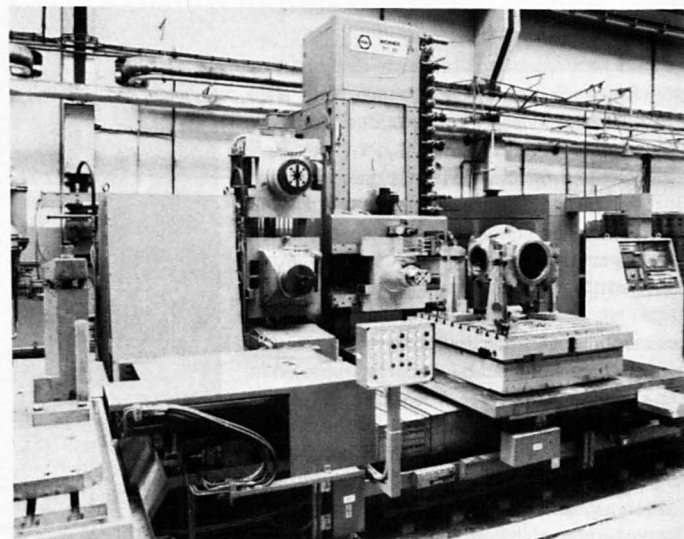
stück-Eigensteifigkeiten, natürliche Einbaulagen und erforderliche Maschineneigensteifigkeiten, Späne- und Kühlwasserentsorgung, universelle Einsatzmöglichkeit.

Aufbau und Einsatzbereich horizontaler Bearbeitungszentren und flexibler Fertigungssysteme

Konstruktive Merkmale der Grundmaschine

Bild 1 Horizontal-es Bearbeitungszentrum «Werner TC 22» mit Palettenwechsler, Bohrkopfmagazin und Werkzeugspeicher für 50 Werkzeuge

In Bild 1 ist ein horizontales Bearbeitungszentrum für die Bearbeitung grosser Werkstücke dargestellt. Es verfügt über eine Aufspannfläche von 1200x1200 mm und eine Antriebsleistung von 50 kW. Die Maschine ist mit einem Kettenmagazin für 50 Werkzeuge, einem automatischen Werkzeugwechsler in Form eines Doppelgreifersystems sowie einem Bohrkopf-Wechselsystem mit ausbaufähigem Magazin und einem Palettenwechselsystem ausgerüstet. Die Werkzeuge werden bis zu einem Gewicht von 25 kg in 9 s zwischen Spindel und Magazin ausgetauscht. Für schwere Werkzeuge ist eine verminderte Wechselgeschwindigkeit anwählbar. Nach einem erfolgten Werkzeugaustausch werden die Magazinkette und der Vertikalschlitten miteinander verriegelt, so dass die Kette mitgeschleppt und der Werkzeugwechsel in jeder beliebigen Vertikalposition erfolgen kann. Die verwendeten Werkzeuge haben genormte Aufnahmen mit SK 50.



* Dipl.-Ing. Rolf Binder, Hermann Kolb Werkzeugmaschinen, Köln BRD, und Dr.-Ing. Uwe Heisel, Fritz Werner Werkzeugmaschinen, Berlin BRD, Unternehmungen der Deutschen Industrieanlagen Gesellschaft mbH

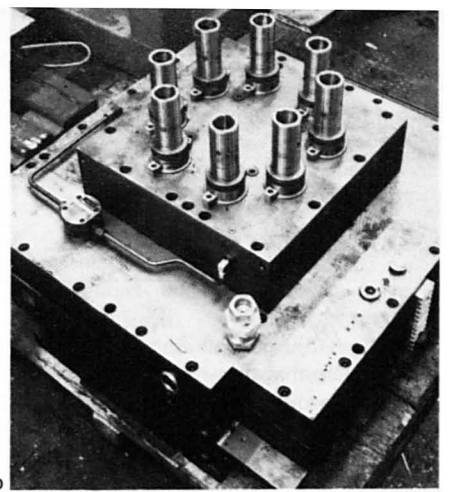
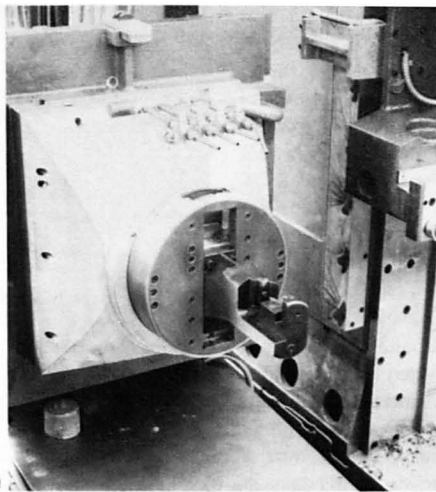
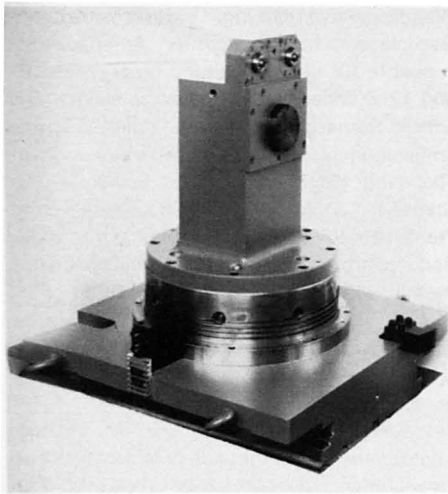


Bild 2 Automatisch wechselbare Fräs-, Plandreh- und Bohrköpfe beim Bearbeitungszentrum «Werner TC 22». a Doppelspindel-Winkelfräskopf; b Plandrehkopf; c Mehrspindelbohrkopf

Die grosse Antriebsleistung der Maschine erlaubt es auch, Mehrspindel-Bohrköpfe einzusetzen. Mit dem Spindelstock-Wechsel-system lassen sich besondere Spindelstöcke, wie Fräsköpfe für schwere Schnitte, Winkel-fräsköpfe, grosse Bohrstangen, Plandreh-köpfe und Sonderspindelstöcke automatisch einwechseln (Bild 2). Der Austausch erfolgt über eine schwenkbare Vorrichtung, die neben der Maschine angeordnet ist und in der Standardausführung drei Spindelstöcken Platz bietet. Sie kann auch direkt mit einem grösseren Spindelstockmagazin verkettet werden (Bild 3). Über eine zentrale Leitung durch die Spindel erhalten die Werkzeuge eine innere Kühlmittelzufuhr. Dadurch lassen sich höhere Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe bei gleichzeitig deutlich verbesserten Standzeiten verwirklichen.

Die Palettenwechseleinrichtung ist erforderlich, um während der Hauptzeit das Werkstück auf einer zweiten Palette umspannen oder ein neues Teil vorbereiten zu können. Die Durchlaufzeit eines Werkstücks lässt sich dadurch erheblich verkürzen. Zum Palettenwechsel fährt der Maschinentisch in X-Richtung in die Wechselposition. Die auszutauschende Palette wird auf einer Rollenbahn zum Spann- und Rüstplatz transportiert und die Palette eingewechselt. Ein Palettentausch

dauert etwa 40 s. Bei der in Bild 4 gezeigten Lösung für den Palettenwechsel verfährt der Maschinentisch in zwei Wechselpositionen. Dies empfiehlt sich, wenn man mehrere Maschinen über ein automatisches Paletten-zuführsystem flexibel miteinander verketten soll.

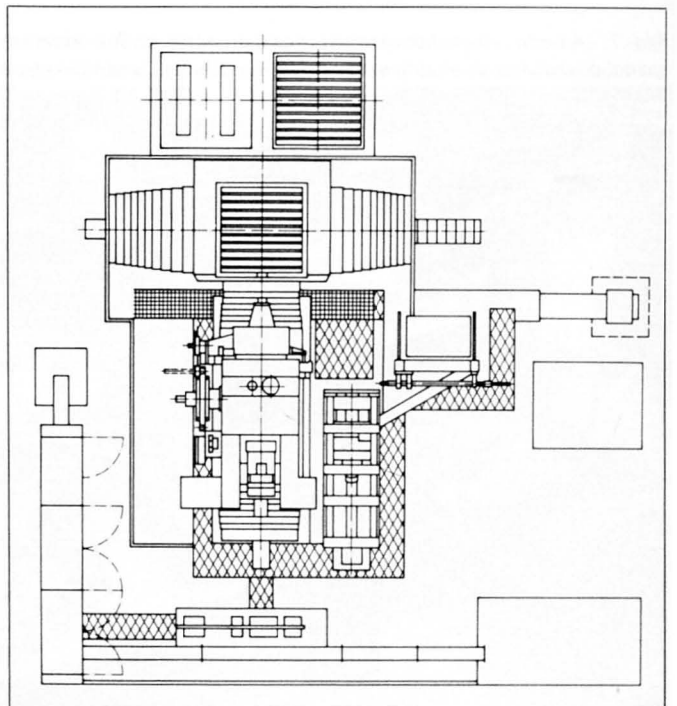
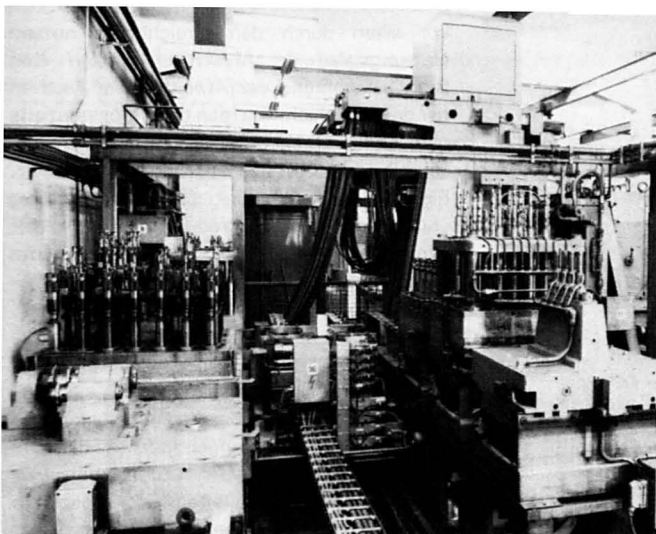
Wirtschaftlicher Einsatzbereich

Typische Werkstücke, die auf horizontalen Grosszentren bearbeitet werden, sind Gehäuse für Pumpen, Grossventile, Getriebe, Gestellbauteile von Maschinen und Motorengehäuse bis zu einem Gewicht von 6 t. Die Genauigkeitsanforderungen dieser Teile sind meistens äusserst hoch, so dass es erforderlich ist, möglichst viele Bearbeitungsgänge ohne Umspannen ausführen zu können. Für diese Mehrseitenbearbeitung wird daher neben den drei linearen Hauptachsen X, Y und

Z auch eine rotatorische Achse als Tischbewegung benötigt, so dass man in einer Aufspannung auch winklig zueinanderstehende oder gegenüberliegende Flächen bearbeiten kann. Diese Möglichkeit ist beispielsweise von grossem Nutzen bei der Bearbeitung der in Bild 5 gezeigten Werkstücke. Solche grossen Teile erfordern bei einer herkömmlichen Bearbeitung zahlreiche Aufspannungen mit entsprechend vielen Vorrichtungen, grossem Platz- und Personalbedarf sowie hohen Durchlaufzeiten. Der durch die Komplettbearbeitung auf einem horizontalen Bearbeitungszentrum erzielte wirtschaftliche Nutzen zeigt sich im Vergleich der Kenngrössen in Tabelle 1, die aufgrund verschiedener Praxisfälle ermittelt wurden. Bei den zugrundeliegenden Beispielen hat man eine Amortisationszeit von etwa fünf Jahren errechnet. Es wurde dabei ein Ausnutzungsgrad von durchschnittlich 85% erreicht.

Bild 4 Horizontales Bearbeitungszentrum «Werner TC 22» mit Vornrechts-Vornlinks-Palettenwechsler für den Anschluss an ein automatisches Verkettungssystem

Bild 3 Bohrkopf-Grossmagazin mit Mehrspindel-Bohrköpfen («Werner TC 22»)



| | Herkömmliche Maschinen (%) | NC-Bearbeitungszentren (%) |
|---|----------------------------|----------------------------|
| Kosten für Vorrichtungen und typengebundene Werkzeuge | 100 | 25 |
| Flächenbedarf | 100 | 70 |
| Bearbeitungszeit (Durchlaufzeit) | 100 | 20-35 |
| Stückkosten | 100 | 90 |

Tabelle 1 Wichtige Kenngrößen bei der Kurbelgehäusefertigung [1, 2]

Für die in Bild 6 gezeigte Bearbeitung eines Werkzeugtellermagazins wäre auf einem Bohrwerk eine reine Fertigungszeit von 2925 min erforderlich. Demgegenüber beträgt der Zeitbedarf auf einem Bearbeitungszentrum 730 min. Die Form und Grösse dieses

arbeiten kann. Die drei linearen Hauptachsen liegen bei dieser Maschinenausführung in der Werkzeugbewegung. Zusätzliche Vorteile dieser Achsenaufteilung bestehen in der bis auf 10000 mm verlängerbaren X-Achse sowie darin, dass die Maschine an ein spe-

Wendespannvorrichtung, verschiebbarem Gegenlager und zusätzlicher Aufspannbodenplatte für die Bearbeitung grosser 6-, 8- und 12-Zylinder-Kurbelgehäuse zu sehen. Bis auf die Stirnseiten wird die komplette Rundumbearbeitung der Werkstücke in einer Aufspannung durchgeführt. Die Fertigung der Stirnseiten erfolgt anschliessend entweder im Pendelbetrieb in zwei Aufspannungen auf der Bodenplatte oder bei Einsatz eines Drehverschiebetisches in einer Aufspannung.

Ausbau zu flexiblen Fertigungszellen und -systemen

Ein wesentlicher Vorteil miteinander verketteter Bearbeitungszentren liegt in der dadurch erreichbaren Flexibilität der Werkstückbe-

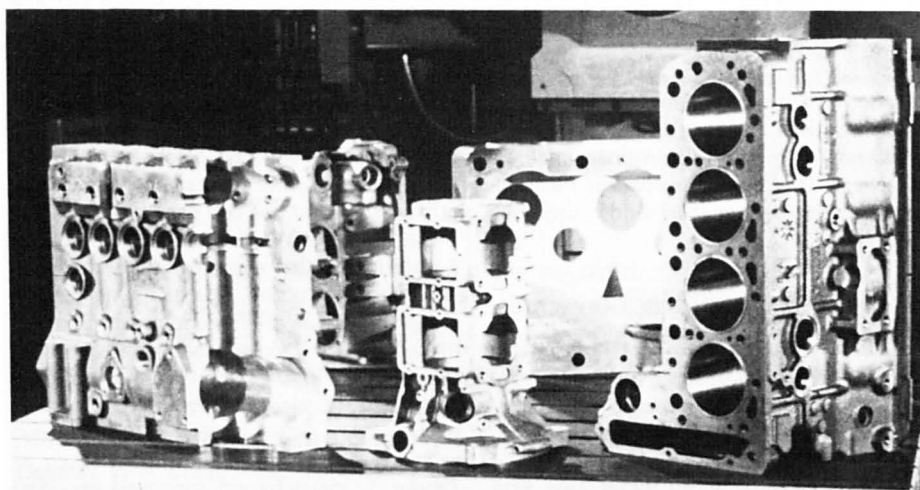


Bild 5 Typische Werkstücke für die Mehrseitenbearbeitung auf horizontalen Bearbeitungszentren

Werkstücks erlaubt bei der Aufspannung gegen eine Winkelvorrichtung jedoch keinen automatischen Palettenwechsel. Um parallel zur Hauptzeit umspannen zu können, sind zwei stationäre Maschinentische vor der Maschine angeordnet, so dass man im Pendelbetrieb

zifisches Werkstückspektrum anpassbar ist. So lassen sich eine Aufspannbodenplatte, Aufsatzrundsche, Drehverschiebetische und Wendespannvorrichtungen wahlweise vorsehen (Bild 7).

In Bild 8 ist ein Bearbeitungszentrum mit

Bild 7 Ansicht eines horizontalen Bearbeitungszentrums «Werner TC 2 So» mit Aufspannbodenplatte, zwei aufgesetzten NC-Rundtischen und Winkelspannvorrichtungen

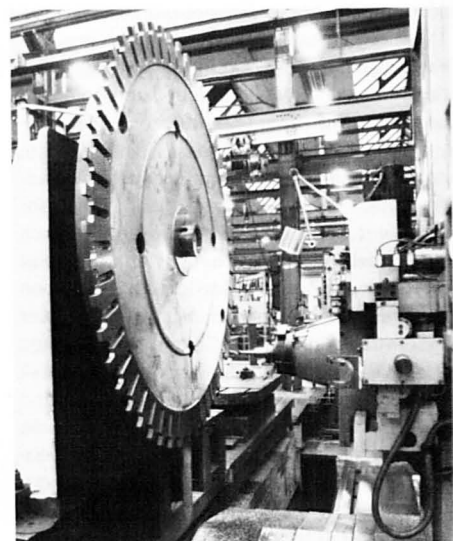
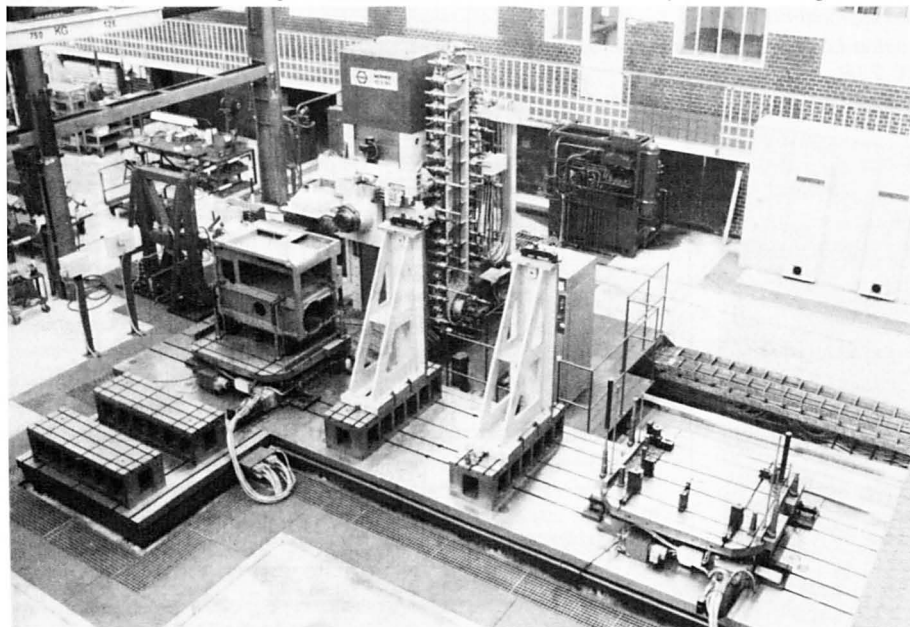


Bild 6 Bearbeitung eines Werkzeug-Tellermagazins gegen einen Winkel gespannt auf einem Bearbeitungszentrum «Werner TC 2 So 8»

schickung. Bei der in Bild 9 gezeigten Produktionsanlage für Werkzeugmaschinen-gestell-Bauteile verbindet ein Schienenfahrzeug drei Bearbeitungszentren untereinander und mit einer Waschanlage. Ausserdem ist eine Messmaschine in den automatischen Werkstückfluss integriert. Die Anlage wird von zentralen Rüst- und Umspannplätzen aus beschickt. Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich vor allem durch den erreichbaren hohen Nutzungsgrad der Maschinen infolge des Betriebs während der Arbeitspausen und in der dritten Schicht. Da man dann grösstenteils bedienerlos arbeiten kann, sind auch erhebliche Personalkosteneinsparungen erreichbar. Ein weiterer Ansatzpunkt für die Verkettung von Bearbeitungszentren kann bei der Grossteilbearbeitung durch die Kosten für die Mehrspindel- und Sonderspindelstöcke gegeben sein. In Bild 10 ist eine Anlage gleicher, das heisst sich ersetzender Bearbeitungszentren zur Fertigung von Grossmotorengehäusen zu sehen. Sie ist mit einem ausbaufähigen Spindelstockmagazin ausgerüstet, auf das über ein schienengebundenes Flurförderfahrzeug jede Maschine Zugriff hat. Für Standardspindelstöcke ist an jeder Maschine zusätzlich ein Trommelmagazin mit fünf

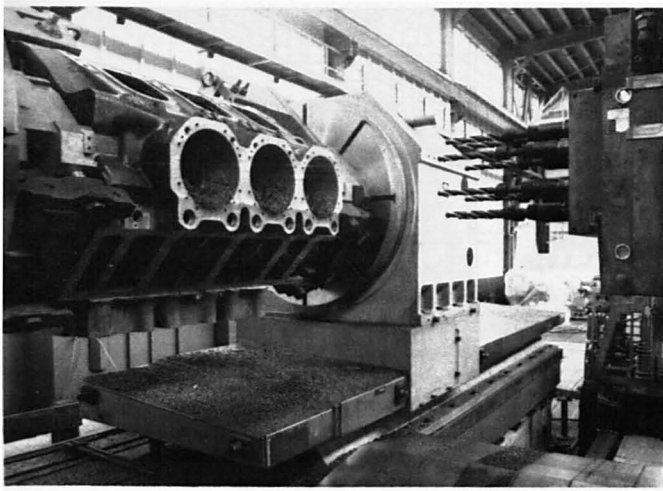


Bild 8 Bearbeitung eines 6-Zylinder-Kurbelgehäuses im Wendespanner mit Mehrspindel-Bohrkopf («Werner TC 2 So»)

licht vor allem einen rüstzeitfreien Auftragswechsel und vermindert zudem die Kapitalbindung für die Werkzeuge und Spannvorrichtungen [3]. Zur Steuerung und Überwachung des gesamten Systems ist den Einzelsteuerungen ein übergeordneter Zellenrechner mit DNC-Anschluss vorgeschaltet, der die Koordination aller Vorgänge innerhalb der flexiblen Fertigungsanlage durchführt (Bild 12). Er ist in eine Organisations- und eine Maschinenrechner Ebene aufgeteilt. Angeschlossen sind ein Bildschirm mit Bedienkonsole für die Dialogeingabe und weitere periphere Geräte, wie Werkzeugvoreinstellgerät sowie Strich-Code-Drucker und -Leser für die Werkzeugerkennung. Es werden die NC-Bearbeitungsprogramme des gesamten Werkstückspek-

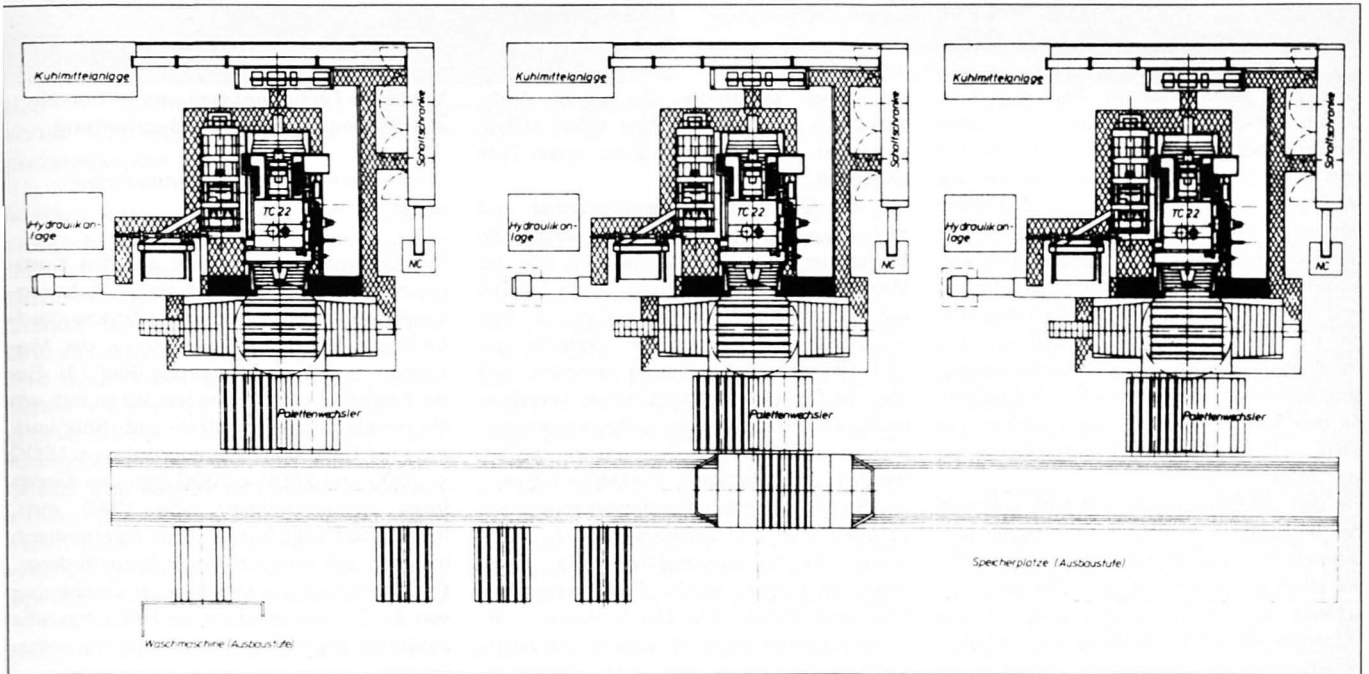


Bild 9 Verkettete flexible Fertigungsanlage mit Bearbeitungszentren «Werner TC 22», Palettenwechslern und schienengebundenem Flurförderfahrzeug für den Palettentransport

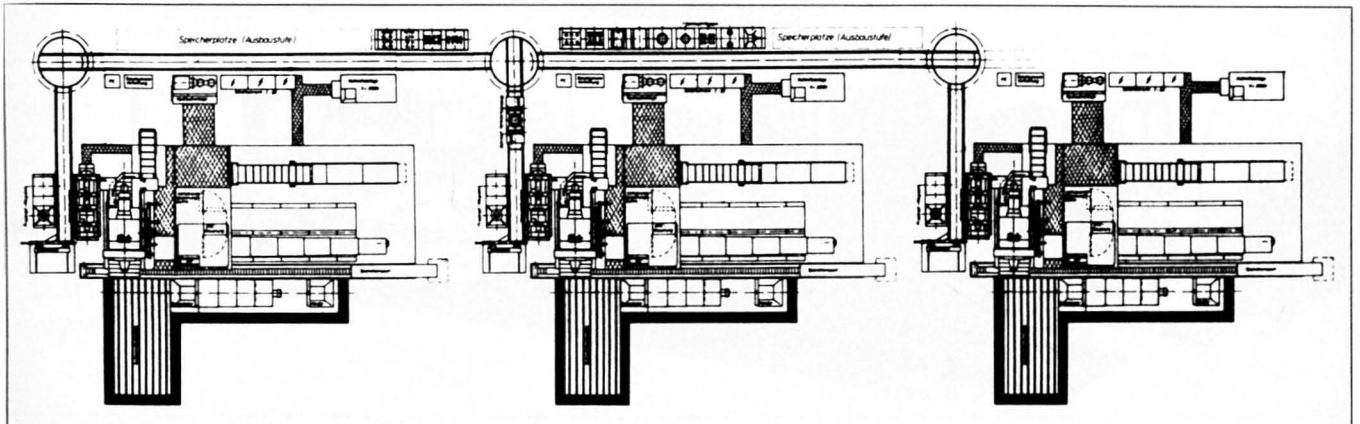
Plätzen vorgesehen, das gleichzeitig auch als Pufferplatz dient.

In ähnlicher Weise lassen sich über ein Doppelportalsystem mit Schwenigreifer auch Einzelwerkzeuge rechnergesteuert zwischen den Maschinenmagazinen und einem zentra-

len Werkzeuglager austauschen (Bild 11). Dadurch ergeben sich grundlegend neue Einsatz- und Betriebsbedingungen, die zu einer erheblichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen. Der gezielte Zugriff auf ein externes Werkzeugspeichersystem ermög-

trums sowie die Datei für sämtliche Werkzeuge verwaltet. Der Organisationsrechner übernimmt die Auftragserfassung und -verwaltung, bestimmt die Auftragsablauf-Reihenfolge und stellt die Werkzeugverfügbarkeit für einen Auftrag unter Berücksichtigung der

Bild 10 Flexibles Fertigungssystem mit automatischer Bohrkopfführung und externem Bohrkopfmagazin («Werner TC 2 So»)



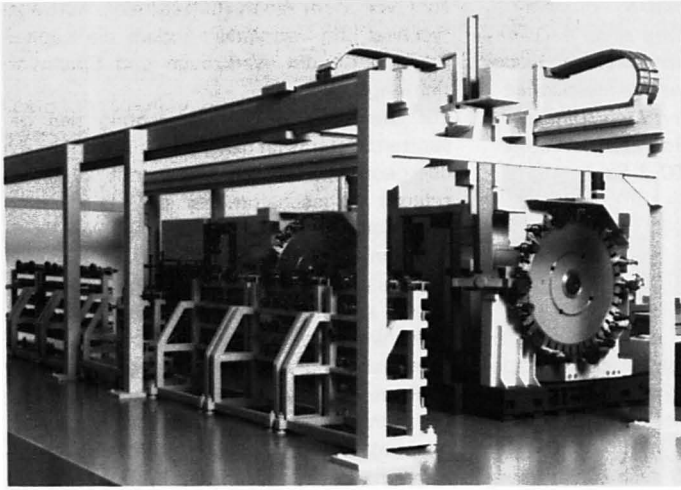


Bild 11 Integrierte automatische Werkzeugversorgung mit erweiterungsfähigem Werkzeugmagazin in einem flexiblen Fertigungssystem (Bauart Werner)

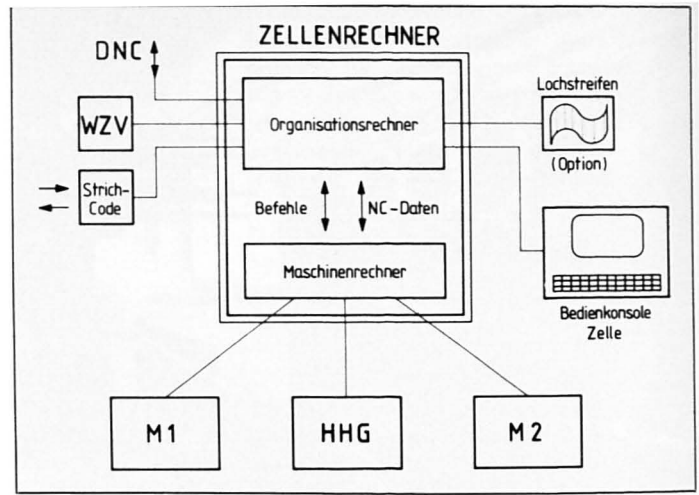


Bild 12 Aufbau des Zellenrechners für flexible Fertigungszellen (Bauart Werner)

Einsatzzeit jedes einzelnen Werkzeugs fest. Sofern Werkzeuge fehlen oder die Standzeit für ein benötigtes Werkzeug nicht ausreicht und kein Ersatzwerkzeug im Speicher zur Verfügung steht, wird dies am Bildschirm angezeigt. Der Maschinenrechner übernimmt die Informationen des Organisationsrechners, erstellt eine zeitlich geordnete Ablaufplanung und übergibt die Befehle und Informationen an die Steuerungen der Maschinen und Handhabungsgeräte. In die Prozesssteuerung eingeschlossen sind auch alle Peripheriegeräte für den Automatikbetrieb. Dazu gehören vor allem die Kontrollfunktionen und die Erfassung von Betriebsdaten [4].

Für den selbstüberwachten Betrieb während der bedienlosen Schicht sind maschinenintegrierte Sensoren erforderlich, mit deren Hilfe vor allem ein unregelmässiger Werkzeugverschleiss oder -bruch erkannt wird, um alle Massnahmen zur Vermeidung von Betriebsunterbrechungen automatisch einleiten zu können. Dazu gehört bei einem Werkzeugverschleiss der automatische Aufruf eines Ersatzwerkzeugs nach Beendigung des Schnittes und das Aussondern des ver-

schlissenen Werkzeugs. Bei einem Werkzeugbruch wird die Maschine sofort stillgesetzt und die Bearbeitung eines neuen Teils begonnen.

Für die Überwachung geometrischer und technologischer Daten finden schaltende Messtaster Verwendung, die sich wie ein Werkzeug aus dem Magazin in die Spindel wechseln lassen. Damit lassen sich an vorgegebenen Referenzpunkten Vorrichtung- und Werkstückbezugsmaße erfassen und über die Steuerung entsprechende Koordinatentransformationen oder Nullpunktverschiebungen durchführen. Ausserdem ist es möglich, am gefertigten Werkstück Längen- und Stichmaße sowie Passungsdurchmesser zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Die Längenkorrektur erfolgt dabei durch ein entsprechendes Positionieren der Maschinenachsen. Die Durchmesser- oder Radienkorrektur erfordert automatisch nachstellbare Werkzeuge. Für grosse Bohrungsdurchmesser werden NC-gesteuerte Plan-drehköpfe eingesetzt, die über einen separaten Antrieb und ein direktes Messsystem verfügen.

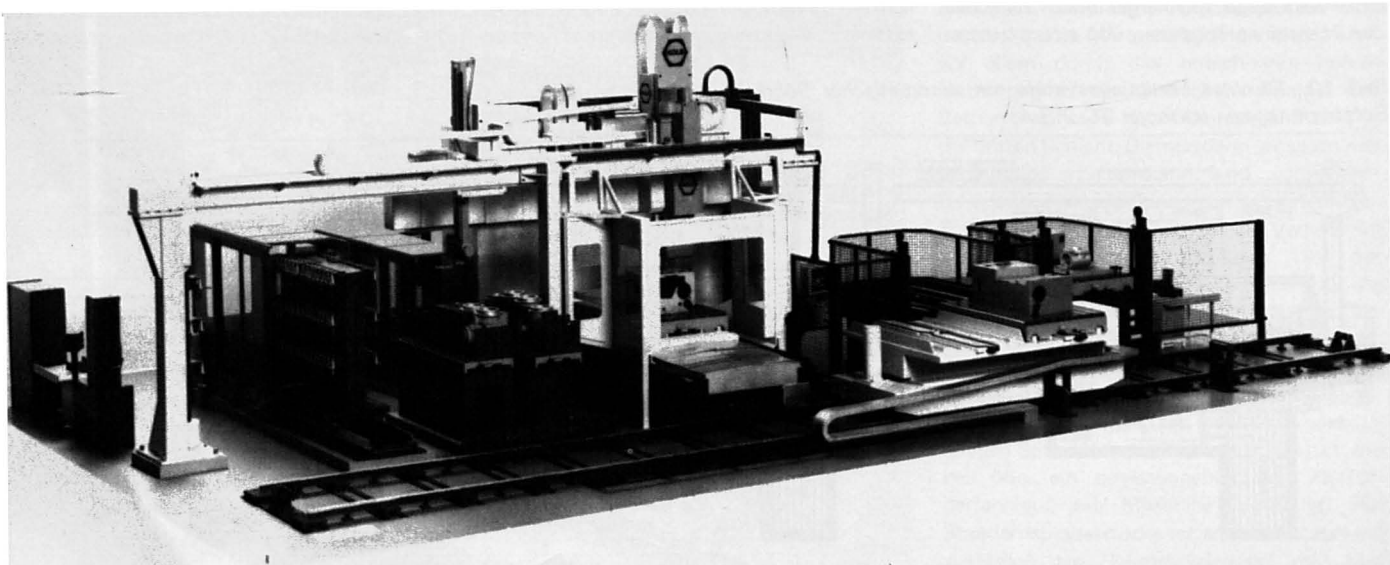
Vertikale Fertigungssysteme in Portal-ausführung für 5-Seiten-Bearbeitung

rundmaschine und Automatisierungs-komponenten

Das Gesamtsystem besteht aus den Komponenten Bearbeitungsmaschine, Werkzeugwechsel und Magazinierung, Werkzeugaufbereitung, Palettentransport sowie der Maschinen- und Systemsteuerung (Bild 13). Bei der Bearbeitungsmaschine handelt es sich um ein Hochleistungs-Portalfräs- und -Bohrwerk mit einer Tisch- und Palettengrösse von 1500 x 2000 und 2000 x 3000 mm und einem freien Höhendurchgang von 1250 mm. Rechts und links neben dem Palettentisch befinden sich zwei integrierte Späneförderer. Der Arbeitsraum der Maschine ist unabhängig von der Gesamtkapselung der Fertigungszelle zusätzlich abgeschirmt, um Flugspäne abzufangen.

Die Arbeitsleistung beträgt 60 kW, die maximale Standardspindeldrehzahl 2500 U/min, die höchste Vorschubgeschwindigkeit in der Eilgang 10 m/min in allen drei Achsen. Die Maschine besitzt einen vertikalen ver-fahrbaren Querbalken. Auf diesem bewegt

Bild 13 Flexible Fertigungszelle «Kolb PFZ 1500» mit automatischer Werkzeug- und Werkstückzuführung



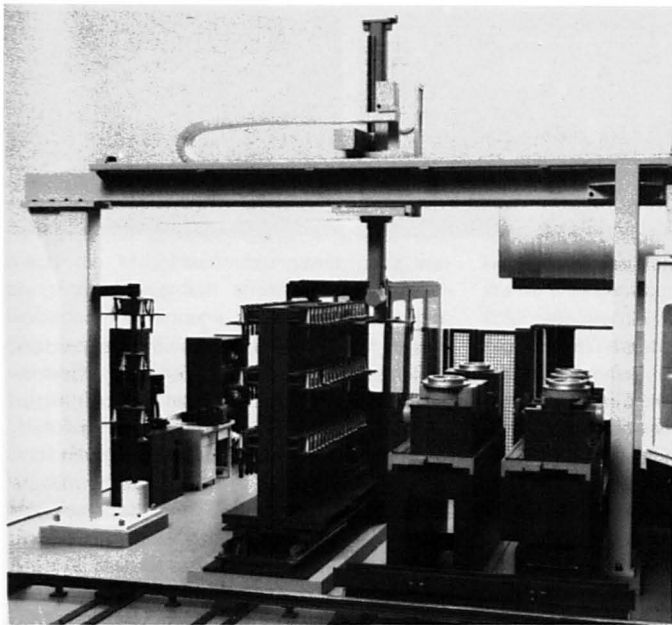


Bild 14 Handhabungsgerät und Werkzeugmagazin für automatischen Werkzeugaustausch und Bohrkopfmagazin bei der Fertigungszelle «Kolb PFZ 1500»

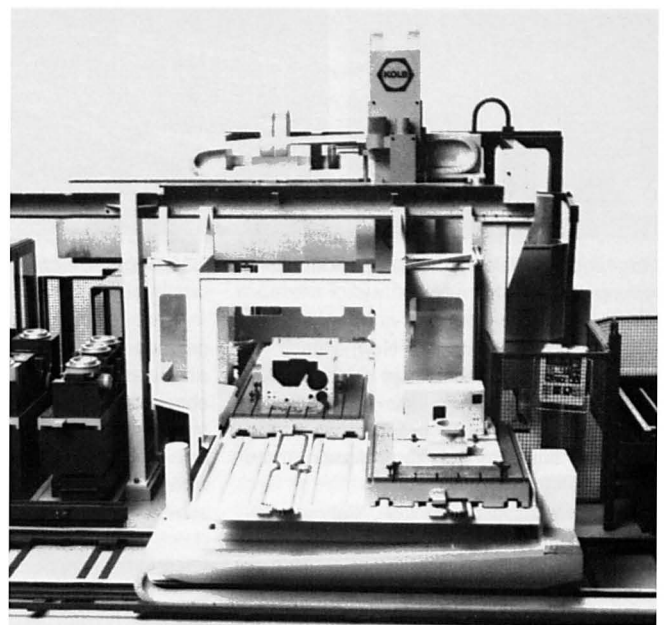


Bild 15 Doppelpalettenfahrzeug für den automatischen Werkstückwechsel bei der Fertigungszelle «Kolb PFZ 1500»

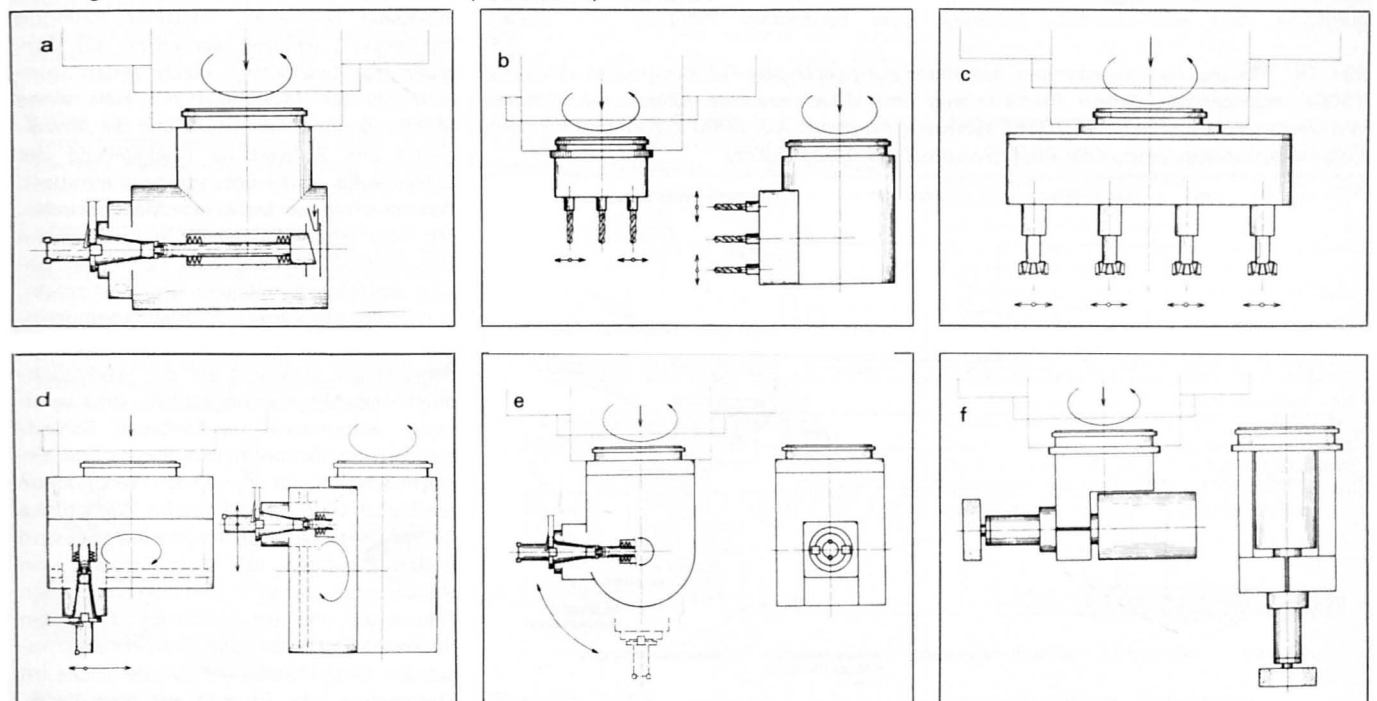
sich in Y-Richtung der Fräsupport und darauf in Z-Richtung ein kompakter Frässchlitten mit der Arbeitsspindel. Der Fräs- und Kreuzschlitten sowie die Gestellaufbauten wie Ständer, Querbalken, Traverse, Tisch und Bett sind so ausgelegt, dass sie hohen statischen und dynamischen Beanspruchungen standhalten können. Es wurde auch auf eine grösstmögliche Thermosymmetrie aller Komponenten geachtet. Die Arbeitsspindel besitzt eine äussere und innere Kühlmittelzufuhr. Die Werkzeugkegel werden durch intern zugeführte Luft vor dem Werkzeugwechsel gereinigt. An der Unterseite des Spindelschlittens ist die Aufnahme-, Spann-

und Dreheinrichtung zur automatischen Befestigung von Winkel-, Kontur-, Vielspindel- und Sonderbearbeitungsköpfen angeordnet. Die Werkzeugwechseleinrichtung besteht aus einem unabhängig von der Maschine aufgestellten Portal, auf dem der Werkzeugmanipulator mit 60 m/min verfährt (Bild 14). Er entnimmt die senkrecht hängenden Werkzeuge aus dem Magazin und bringt sie zur Bereitstellungsposition vor den linken Ständer. Der Werkzeugaustausch erfolgt auf Abruf, und zwar sowohl bei vertikaler als auch horizontaler Spindellage, wobei sich der Schlittenfräsupport nicht aus seiner Position bewegen muss. Der Werkzeugwechselarm ist

daher dreh- und um 90° schwenkbar ausgeführt. Die waagrechte und senkrechte Achse des Werkzeugmanipulators sind frei programmierbar. Die Werkzeugwechselzeit aus der Bereitstellungsposition bei Mittelstellung des Schlittenfräsupports beträgt etwa 7 bis 8 s. Die gesamte Werkzeugbereitstellung erfordert, je nach Lage des Werkzeugs im Magazin, eine Zeit von 15 bis 30 s.

Zur Bearbeitung des Werkstückspektrums sind eine Vielzahl von Werkzeugen nötig, die im wahlfreien Zugriff stehen müssen. Das Werkzeugmagazin ist auf einem längs verfahrbaren, NC-gesteuerten Schlitten angeordnet. Die Werkzeuge mit Steilkegel 50 hängen beidseitig in einer Aufnahmevorrichtung. In der Grundausführung lassen sich bis

Bild 16 Automatisch wechselbare Bearbeitungsköpfe. a Winkelfräs- und Bohrkopf; b Vielspindel-Bohrkopf; c Vielspindelfräskopf d CNC-gesteuerter Kontur- und Ausdrehkopf; e CNC-gesteuerter Zweiachsen-Schwenkfräskopf; f Schleifspindeleinheit



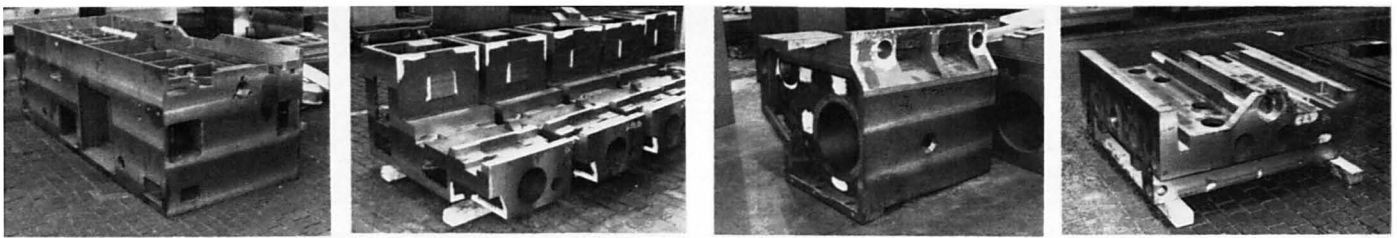


Bild 17 Beispiele typischer Werkstücke für die 5-Seiten-Bearbeitung auf vertikalen Bearbeitungszentren

zu 64 Werkzeuge mit einer Normlänge von 350 mm und 32 Werkzeuge mit einer Maximallänge von 550 mm lagern. Das Magazin ist aber ausbaufähig. Noch längere Werkzeuge kann man auf dem Bohrkopfmagazin anordnen.

Durch einwechselbare Winkel-, Mehrspindel-, Schnellauf- sowie CNC-gesteuerte Plan- und Konturausdrehköpfe ist der Arbeitsbereich der Fertigungszelle erheblich erweiterbar. Diese Köpfe befinden sich links neben dem Ständer auf einem verfahrenbaren Trägermagazin und werden programmgesteuert vom Schlittenfrässupport selbsttätig aufgenommen und abgelegt. Reichen vier Bearbeitungsköpfe nicht aus, so ist es möglich, weitere Trägermagazine mit Hilfe des Palettenwagens automatisch einzuwechseln.

Abgenutzte Werkzeuge werden automatisch ausgesondert. Dazu ist links neben dem längsbeweglichen Werkzeugmagazin ein separater Werkzeugein- und -ausgabeplatz angeordnet. Die zum Austausch vorgesehenen Werkzeuge werden vom Werkzeugmanipulator direkt in das Ausgabemagazin abgelegt und dort von Hand entnommen. Das Vermessen der ausgewechselten Werkzeuge erfolgt auf einem Werkzeugeinstellgerät. Zur Übertragung der Werkzeugdaten besteht ein Direktanschluss zum Zellenrechner und von dort zur Maschinensteuerung.

Der Werkstückpalettenwechsel erfolgt durch einen schienengebundenen Transportwagen mit zwei Palettenplätzen (Bild 15). Er ist so aufgebaut, dass unterschiedliche Paletten-

größen und auch die Bohrkopf-Trägermagazine von beiden Seiten aufgenommen und abgegeben werden können. Ein thyristorgesteuerter Gleichstrommotor treibt den Wagen an. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 60 m/min. Der Zellenrechner ist mit der Maschinen- und PC-Steuerung gekoppelt, wodurch ein vorprogrammierter Ablauf und wahlfreier Palettenzugriff möglich ist. Die Anzahl der stationären Palettenplätze richtet sich nach den räumlichen Gegebenheiten sowie dem Werkstück- und Auftragspektrum.

An den Zellenrechner direkt angeschlossen sind ebenfalls ein Bildschirmgerät mit Bedienkonsole, ein Werkzeug-Voreinstellgerät, Stanzer und Leser für Lochstreifen sowie ein Strich-Code-Drucker und -Leser zur Werkzeugidentifizierung. Integrierte Überwachungs- und Fehlerdiagnoseprogramme geben beim Auftreten von Störungen Auskunft über die Ursachen und erstellen Anweisungen für deren Behebung. Der bedienarme oder -freie Automatikbetrieb wird durch entsprechende Überwachungseinrichtungen ermöglicht. So muss die Maschine beispielsweise mit Sensoren zur Erfassung der Vorschubkräfte und der Drehmomente ausgerüstet sein, die für jedes Werkzeug registriert und ausgewertet werden [5].

Einsatzbereich, Beispiele, Wirtschaftlichkeit

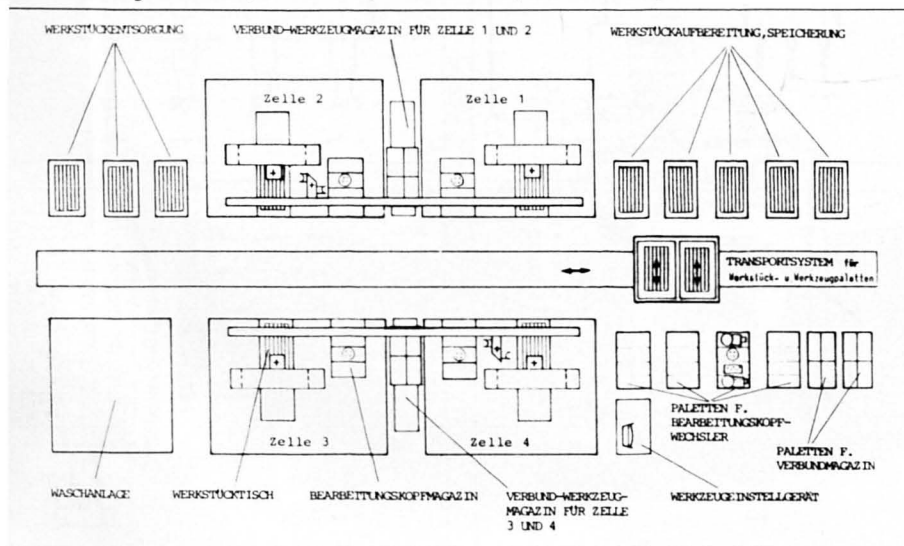
Übliche Bearbeitungsoperationen in vertikaler oder horizontaler Richtung sind Fräsen,

Bohren, Spindeln, Gewindeschneiden, Schleifen, Vielspindelbohren und -Gewindeschneiden. Die senkrechten Bearbeitungen werden mit dem Frässlitten ausgeführt, während für die Seitenbearbeitung ein um 360° in Stufen von 1° automatisch schwenkbarer Winkelfräs- und -bohrkopf zur Verfügung steht. Er besitzt eine innere und äussere Kühlmittelzufuhr. Ausserdem ist eine Luftreinigung des Werkzeugkegels für den automatischen Werkzeugwechsel vorgesehen (Bild 16a).

Durch den Einsatz von Vielspindel-Bohrköpfen für die vertikale und horizontale Bearbeitung lässt sich die Wirtschaftlichkeit bei wiederkehrenden Lochbildern erheblich erhöhen (Bild 16b). Für grosse symmetrische Lochbilder mit Kreis-, Quadrat- oder Rechteckteilungen sind automatisch schwenkbare Mehrspindelköpfe einsetzbar (Bild 16c). Es ist auch möglich, mehrere lange, schlanke Werkstücke (wie z.B. Flugzeugteile) in X- oder Y-Richtung auf eine Palette zu spannen. In diesem Fall empfiehlt sich der Einsatz eines Vielspindel-Fräskopfes. Auch hier erfolgt der Werkzeugwechsel automatisch.

Der CNC-gesteuerte Kontur- und Ausdrehkopf (Bild 16d) für die vertikale und horizontale Bearbeitung mehrfach abgesetzter Bohrungen, von Schrägen, Fasen oder Zirkularkonturen (z.B. Armaturen) ist ebenfalls für den automatischen Werkzeugwechsel vorgesehen. Damit lassen sich mehrere unterschiedliche Durchmesser mit dem gleichen Werkzeug bearbeiten. Passungsbohrungen mit engen Toleranzen werden bis auf Vordrehmass bearbeitet, durch einen einschwenkbaren Messtaster mit Hilfe eines Messprogramms vermessen und die Abweichung zum Sollwert zur Nachstellung der Schneide für die Fertigbearbeitung ermittelt. Danach erfolgt nochmals eine Masskontrolle. Mit dem in zwei Achsen CNC-gesteuerten Universalfräskopf (Bild 16e) kann man gekrümmte Flächen im Raum - Kaplanschaufeln, Schiffspropellerblätter, Luftfahrtkomponenten - fräsen und bohren. Das Werkzeug steht dabei immer senkrecht auf der Werkstückoberfläche. Mit einer horizontalen oder vertikalen, automatisch wechselbaren Schleifspindel sind darüber hinaus lineare und zirkuläre Schleifoperationen an den Werkstücken ausführbar (Bild 16f). Typische Werkstücke für die vertikale 5-Seiten-Bearbeitung sind Betten, Schlitten und Spindelstöcke von Werkzeugmaschinen, Komponenten von Fahrzeugen und Baumaschinen, Teile von Spritzguss-, Druck- und Verpackungsmaschinen, Grundplatten und Zylinderblöcke im Motorenbau oder Bauteile aus dem Kraft-

Bild 18 Flexibles Fertigungssystem, bestehend aus zwei Duplex-Fertigungszellen «Kolb PFZ 1500», schienengebundenem Flurförderzeug und Waschmaschine (Bilder: Fritz Werner Werkzeugmaschinen, Berlin BRD/MHZ Werkzeugmaschinen AG, 8008 Zürich, und Hermann Kolb Werkzeugmaschinen, Köln BRD /Swisstool AG, 8021 Zürich)



werksbau, der Klima- und Lüftungstechnik sowie der Flugzeugindustrie (Bild 17).

Der Auftragswechsel erfordert bei der beschriebenen flexiblen Fertigungszelle keine manuellen Unterbrechungen und läuft vollautomatisch ab. Dies ist durch die rechnergesteuerte Werkzeugbereitstellung möglich, die auch minimale Werkzeug- und Vorrichtungskosten bewirkt. Dadurch erhöht sich auch die Maschinennutzungszeit ganz wesentlich. Ausserdem erreicht man eine erhebliche Verminderung der Personalkosten. Ein weiterer Einsparungseffekt liegt in der verringerten Kapitalbindung infolge der Fertigung in kleinsten Losgrössen.

Wie hoch im einzelnen die Einsparungsmöglichkeit ist, lässt sich genau berechnen. Dafür wurden Simulationsprogramme entwickelt, die Auskunft über die Auslastungssituation, den Umfang des Werkzeuglagers und die Anzahl der benötigten Spannvorrichtungen geben. Eine Vielzahl genau durchgeführter Berechnungen hat zum Ergebnis geführt, dass die Kosteneinsparungen im Vergleich zur herkömmlichen NC-Fertigung meistens über 30% betragen. Dabei ist der erhöhte Investitionsaufwand für die Automatisierungskomponenten voll berücksichtigt [3].

Ausbau zum integrierten Fertigungssystem

Zwei oder mehrere der beschriebenen Fertigungszellen lassen sich zu einem integrierten flexiblen Fertigungssystem zusammenfassen (Bild 18). Dies ist auch bei unterschiedlicher Palettengrösse möglich. Es kann sich aber auch um unterschiedliche Maschinenbauarten oder aber um eine Messmaschine handeln. Zur Führung und Koordination eines solchen Systems wird ein Leitreechner eingesetzt. Jeweils zwei Zellen besitzen zusammen ein Werkzeugmagazin. Die Werkstückspannung erfolgt an einem zentralen Platz. Die Paletten

werden mit einem Transportwagen automatisch den Maschinen oder den stationären Lagerplätzen zugeführt. Für alle Zellen erfolgt die Werkzeugaufbereitung gemeinsam. Die Speicherung der Bearbeitungskopfmagazine ist ebenfalls zentral vorgesehen. Die Reinigung der zwischen- und fertigenbearbeiteten Werkstücke erfolgt durch eine in das System integrierte, selbsttätig arbeitende Waschanlage. Derart ausgebaute, integrierte Fertigungssysteme erfordern ein erhebliches Investitionsvolumen. Vergleicht man jedoch die Anschaffungskosten einzelner Fertigungszellen mit jenen, die für ein integriertes Fertigungssystem gleicher Kapazität aufzuwenden sind, so liegen sie um 10 bis 20% niedriger. Dies wird durch die gemeinsame Nutzung der Werkzeugmagazine, des Transportsystems sowie der zentralen Werkstück- und Werkzeugaufbereitung und -speicherung bewirkt. Dabei sollte man bedenken, dass eine schrittweise Verwirklichung möglich ist. Eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit kommt vor allem auch dadurch zustande, dass jede autarke Fertigungszelle in der Regel von einem Bediener geführt wird, während bei integrierten Systemen ein wesentlich geringerer Personaleinsatz erforderlich ist. Dadurch lassen sich gegenüber einer Fertigungszelle weitere Fertigungskosten senkungen von 10 bis 20% erreichen.

Zusammenfassender Vergleich

Hinsichtlich Universalität und Flexibilität sowie der Automatisierungsmöglichkeit bestehen bei den beschriebenen Ausführungsarten flexibler Fertigungssysteme keine grundsätzlichen Unterschiede. Der erforderliche Kapitaleinsatz ist ebenfalls vergleichbar, sofern die Einsatzbedingungen übereinstimmen. Massgebend für die Entscheidung, ob die horizontale oder die vertikale Bearbeitung wirt-

schaftlich und technologisch günstiger zu bewerten ist, sind daher in erster Linie die Form und Grösse der Werkstücke sowie deren Eigensteifigkeit und natürliche Einbaulagen, die Art der Bearbeitungsgänge, die Anordnung der Bearbeitungsebenen, die Werkzeug- und Vorrichtungskosten sowie die Späne- und Kühlmittelentsorgung.

Horizontale Bearbeitungszentren werden bevorzugt eingesetzt, wenn die Fertigung der meistens kubischen Werkstücke von mehreren Seiten ohne Umspannen sowie in den überwiegenden Fällen ohne Winkel- oder Schwenkköpfe möglich ist. Dadurch steht die volle Leistung und Steifigkeit der Arbeitspindel in jeder Bearbeitungsebene zur Verfügung, so dass grössere Zerspanungsvolumina erreichbar sind. Die horizontale Lage der Hauptspindel gewährleistet zudem einen ungehinderten Spänefall.

Für platten- und kastenförmige Bauteile, deren Eigensteifigkeit eine grossflächige Aufspannung für die Fräs- und Bohrbearbeitung erfordert, ist meistens ein vertikales Bearbeitungszentrum vorteilhafter. Die Zugänglichkeit der Grosswerkstücke von fünf Seiten in einer Aufspannung wird durch den Einsatz von Winkel- und Schwenkköpfen erreicht, deren universelle Anwendungsmöglichkeit auch ein wesentliches Merkmal dieser Zentren darstellt.

Literatur

- [1] Mungenast E., Neubrand P.: Motorengäusefertigung in mittleren Serien. Werkstatt und Betrieb, 1974, Nr. 12
- [2] Schaffroth A., Müller H: Wirtschaftlicher Einsatz von Bearbeitungszentren für Grosswerkstücke. Werkstatt und Betrieb, 1980, Nr. 1, S. 21 bis 24
- [3] Hammer H.: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch flexible Automatisierung beim Bohren und Fräsen. ZWF
- [4] Hammer H., Heisel U.: In Stufen auszubauendes flexibles Fertigungssystem zum Bohren und Fräsen. VDI-Z., Jg. 125 (1983), Nr. 5
- [5] Hammer H., Binder R.: 5-Seiten-Bearbeitung von Grossteilen auf einer Fertigungszelle. Wt-Z. Ind. Fertigung, 1983, Nr. 4