



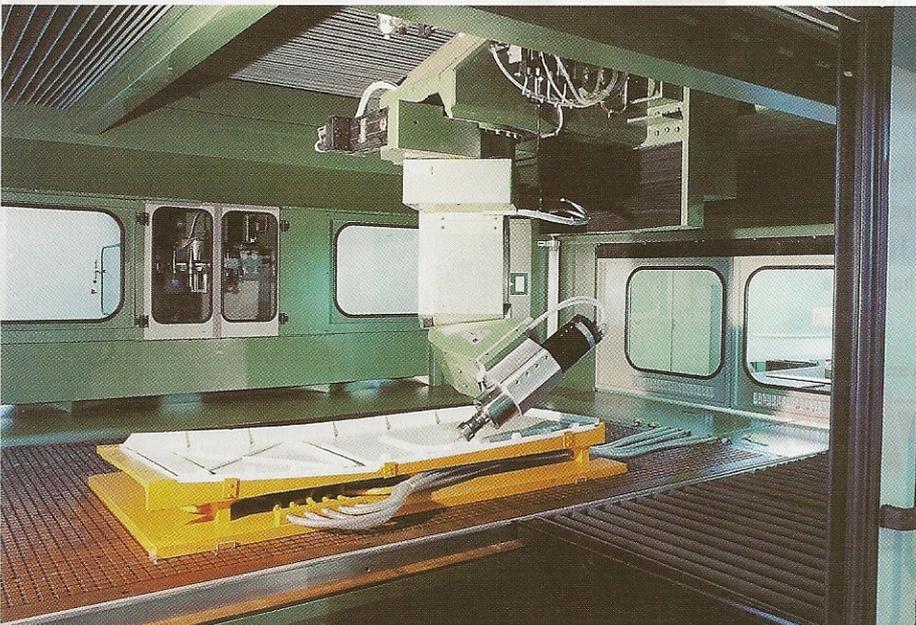
Abb. 1: Gesamtansicht, Türen geschlossen, rechte Tischhälfte in Arbeitsstellung

Bearbeitungs- zentrum für die fortschrittliche Fabrik

Der Forderung nach einem vielseitigen und leistungsfähigen Bearbeitungszentrum, das kaum noch Wünsche offen läßt, wurde mit dieser Weiterentwicklung Rechnung getragen: Räumliche Bearbeitung mit fünf Achsen für große Spanabnahmen und mit hohen Vorschubgeschwindigkeiten, einfach zu programmieren, automatisches Auswechseln von Werkzeugen und Bearbeitungsaggregaten, wechselseitige Werkstückbeschickung – und das alles bei gleichzeitiger Sicherheit gegen mechanische Gefahren, Lärm und Staub. – Von Dipl.-Ing. Paul-Heinz Beyer¹⁾.

¹⁾ Der Verfasser ist Leiter der Entwicklung und Konstruktion bei der Maschinenfabrik Reichenbacher GmbH in Dörfles-Esbach bei Coburg.

Abb. 2: Innenansicht, Türen geöffnet, obenliegende Vorschubführungen



Maschinenaufbau

Erstmals auf der Ligna 1987 ausgestellt, war dieses Konzept, wie sich mittlerweile bestätigt hat, seiner Zeit weit voraus. Der kastenförmige Maschinenaufbau aus großräumigen Hohlprofilen bildet die absolut steife Basis für den Maschinentisch und die Vorschubachsen. Für die Werkstückbearbeitung wird jeweils der halbe Tandemtisch über ein Zahnstangensystem abwechselnd nach links oder rechts nach außen verfahren. Während der Bearbeitung steht der Tisch mit der bewährten Vakuumrasterplatte fest. Für die Arbeitsgüte bei entsprechender Maschinenleistung ist eine schwingungsarme Werkstückaufspannung unverzichtbar (Abb. 1).

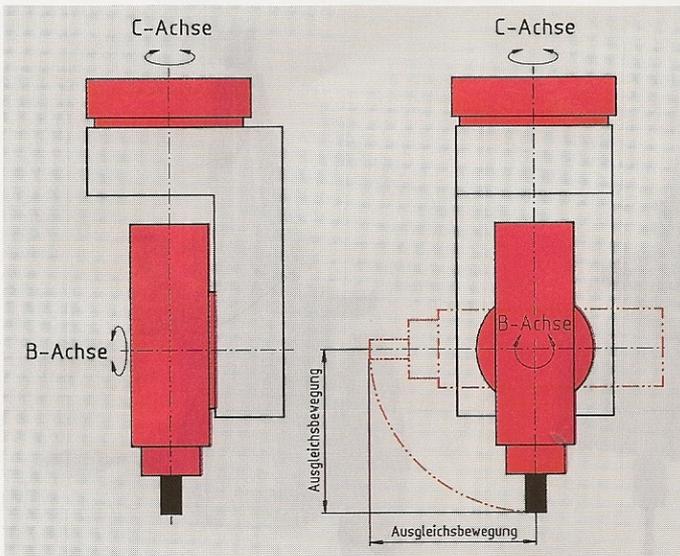
Dieses Bearbeitungszentrum ist im Verhältnis zum Arbeitsbereich äußerst kompakt. Die Bewegungen aller fünf Achsen macht das Werkzeug – mit einem Führungssystem mit hoher Vorspannung. Da die Vorschubsupporte oben liegen, sind sie weniger dem Staub ausgesetzt, und es sind – das ist günstig – große Führungsabstände möglich, ohne daß dadurch die gute Zugänglichkeit des Arbeitsbereichs behindert wird (Abb. 2).

Der kardanische Arbeitskopf

Ein Bearbeitungszentrum zeichnet sich außer durch einen automatischen Werkzeugwechsel dadurch aus, daß es mindestens vier NC-Achsen hat, um damit auch komplizierte Werkstücke in einer Aufspannung fertigbearbeiten zu können. Die drei translatorischen Hauptachsen (X, Y, Z) sind notwendig, damit der Arbeitspunkt des Werkzeuges an jede beliebige Position im Arbeitsraum gebracht werden kann. Für eine uneingeschränkte fünfseitige Bearbeitung sind außerdem zwei (rotatorische) Schwenkachsen (B, C) erforderlich, um dem Werkzeug auch jede beliebige Neigung im Raum zu ermöglichen.

Für die optimale und vollautomatische Bearbeitung der Außenkontur von räumlich geformten Teilen, ohne aufwendige Programmierung, ist diese Maschine mit einem kardanischen Arbeitskopf ausgestattet worden. Drei Baugrößen stehen zur Verfügung, die mit Arbeitsspindeln je nach Bedarf bestückt werden können. Die beiden Schwenkachsen stehen unter 45° so geneigt zueinander, daß sich ihre Mittelachsen stets im theoretischen Arbeitspunkt des Werkzeuges schneiden (Abb. 2).

Dieses kinematische Prinzip hat den Vorteil einer äußerst kompakten und platzsparenden Bauweise mit hoher Steifigkeit. Arbeitsgüte (z. B. Qualität der gefrästen Oberfläche) und Arbeitsleistung sind von den dynamischen Eigenschaften einer Maschine abhängig und diese wiederum erheblich von der Steifigkeit der einzelnen Baugruppen. Durch die Kompaktheit des Arbeitskopfes wird seine Steifigkeit sehr günstig beeinflusst, da sie mit dem



▲ Abb. 3: Ausgleichsbewegungen am Schwenkkopf in 90°-Anordnung

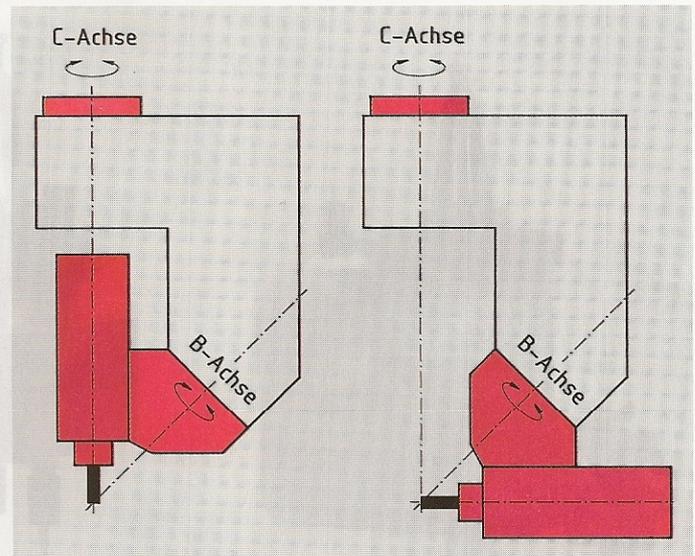


Abb. 4: Schwenkkopf in 45°-Anordnung

Quadrat der Länge der wirkenden Hebelarme abnimmt.

Mit dem Schnittpunkt der Schwenkachsen im theoretischen Arbeitspunkt des Werkzeuges ergeben sich hohe Arbeitsgenauigkeiten. Abweichungen aus den Schwenkachsen, die sich aus erforderlichen minimalen Toleranzen ergeben, werden im gemeinsamen Schnittpunkt zu Null. Die Richtungs-umkehrspanne (= Nachgiebigkeiten aus Grenzen der Steifigkeit auch bei spiel-freien Ausführungen) wird bis zum Werkzeug nicht vervielfacht wie bei anderen Achsen-Anordnungen. Außerdem haben die Schnittkräfte vom Werkzeug fast keine Auswirkung auf das notwendige Drehmoment der Schwenkachsenantriebe.

Beim Schwenken des Werkzeuges verändert sich die Position des theoretischen Arbeitspunktes nicht, so daß keine oder nur geringe Ausgleichsbewegungen notwendig sind, im Gegensatz z.B. zu einer 90°-Anordnung (Abb. 3) der Schwenkachsen. Beim Einstellen eines beliebigen Winkels im Raum bewegt sich bei der 45°-Anordnung der Schwenkachsen der Arbeitspunkt des Werkzeuges praktisch nicht von der Stelle (Abb. 4). Das bedeutet auch konkret, daß der vorhandene Arbeitsraum nicht reduziert wird, wenn z.B. das Werkzeug von der senkrechten in eine waagerechte Stellung schwenkt.

Werkzeuge und Zusatzaggregate

Das Werkzeugmagazin ist zum Schutz vor Spänen und Staub durch eine automatische Schiebetür gegenüber dem Arbeitsraum abgedichtet. Es ist mit 16 oder 24 Aufnahmeplätzen ausgerüstet und zum Beladen von der Maschinenrückseite her zugänglich (Abb. 2, 5 und 6). Die Werkzeuge zum Fräsen, Bohren, Sägen, Schleifen, Gewindeschneiden und Messen können SK30-, SK40-, HSK- oder Zylinder-schaft-Aufnahme haben. Außerdem kann das Magazin mit allen möglichen Zusatzaggregaten zum automatischen Auswechseln bestückt werden (Abb. 7 bis 10).

Die CNC-Steuerung

Das Bedienfeld für die CNC-Steuerung – vorzugsweise eine Siemens Sinumerik 840 C – ist einschließlich einem Disketten-Lesegerät seitlich verschiebbar vor der Maschinenfront angebracht (Abb. 11). Die Steuerung aus der Großserienfertigung hat hohe Verfügbarkeit durch Störsicherheit, ausgereiftem Diagnosesystem und sichergestelltem

Abb. 5: Pick-up-Tellermagazin bei der Werkzeugübergabe an die Spindel

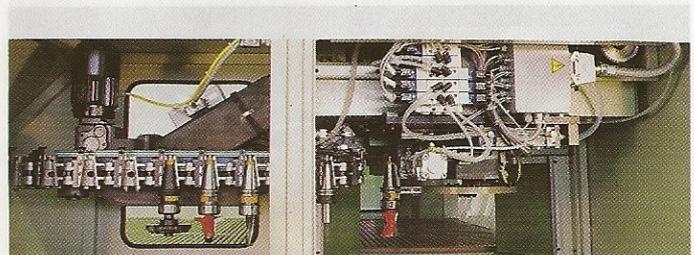
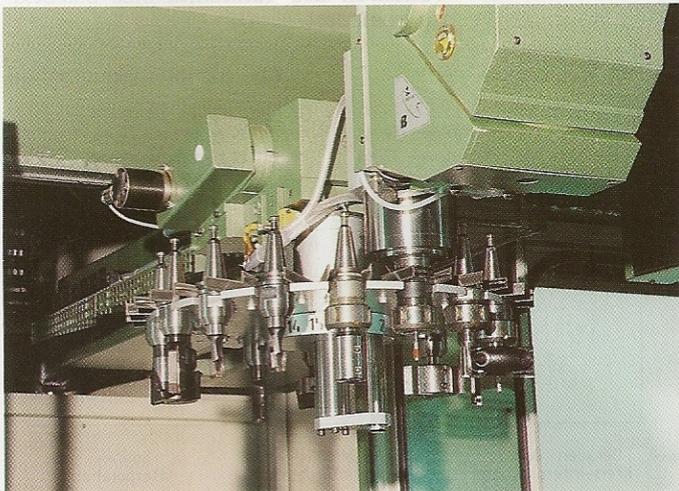
Hardware-Service zur Folge. Weitere Vorzüge sind ein Industrie-PC als Bedienfeldrechner, Schnittstellenerweiterung für den Rechnerverbund, Festplatte zur Programmspeichererweiterung, die fortwährende Software-Weiterentwicklung und -pflege sowie ein Handbediengerät für eine Teach-In-Programmierung.

Spline-Interpolation

Die Steuerung arbeitet mit der üblichen Programmierung nach DIN (linear, zirkular, helical in fünf Achsen), wobei das Programm auch mit einem Postprozessor aus der CAD-Geometrie generiert werden kann. Darüberhinaus ist auch die Anwendung der Spline-Interpolation möglich, die besonders bei 5-Achs-Maschinen vorteilhaft ist.

Üblicherweise bestehen die Konturen, also die Werkzeugbahn, aus Geraden und Kreisbögen. Dabei kann es gerade bei hohen Geschwindigkeiten vorkommen, daß die Wegabschnitte zu kurz sind, und es kann zwangsläufig zu Geschwindigkeitseinbrüchen kommen. Umso mehr ist es unzweckmäßig, bestimmte (automatisierte) Program-

Abb. 6: Werkzeugmagazin in Kettenausführung



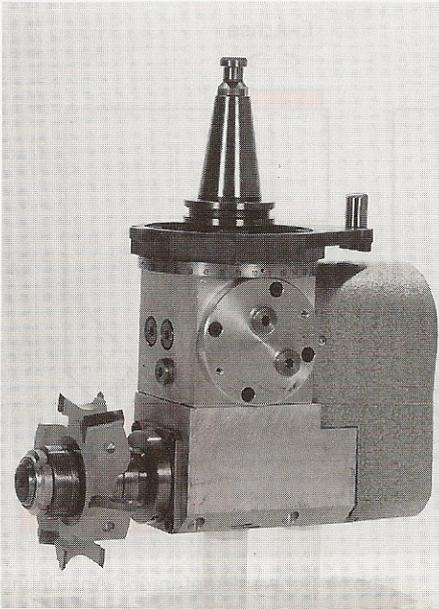


Abb. 7: SK40-Winkelfräsggregat

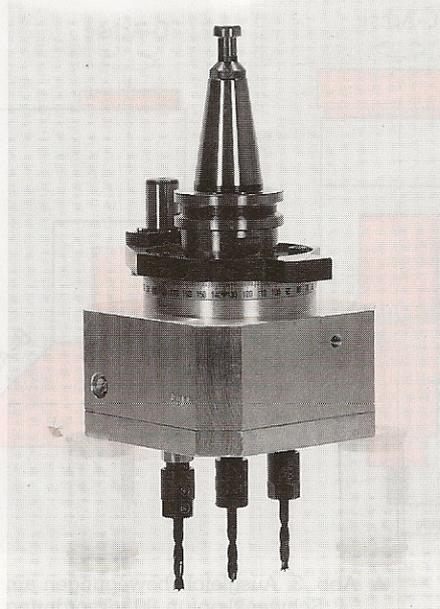


Abb. 8: SK40-Bohraggregat (dreispindlig)



Abb. 9: SK40-Winkelbohr- und -Sägeaggregat

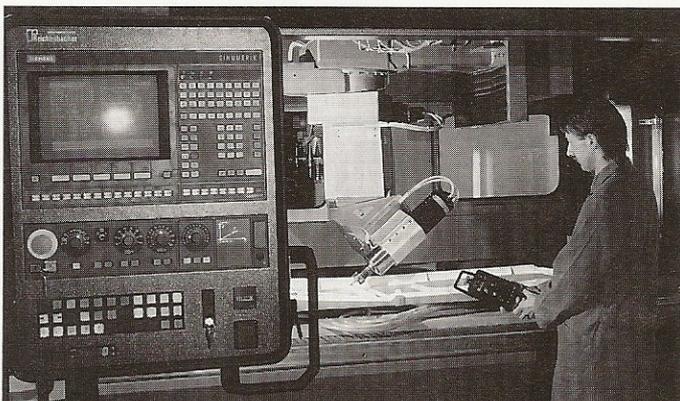
miervorfahren aus der Metallbearbeitung zu übernehmen, bei denen die Konturen nur aus extrem kurzen Geradenstückchen zusammengesetzt werden.

In der Regel kann man diese Problematik umgehen, indem man eine höhere Interpolationsart, die Spline-Interpolation, anwendet. Damit lassen sich mehrere kleine Wegstrecken zu einem Kurvenstück verbinden. Anstelle von mehreren Geraden- und Kreisbogenstücken tritt jeweils ein Polynom-Abschnitt, so daß sich die Weglänge pro Satz um einen Faktor meist zwischen 10 und 30 vergrößert. Dadurch werden gleichzeitig die Verfahrbewegungen weicher (Abb. 12).

Soweit bei komplizierten Werkstücken die Geometriedaten nicht aus dem CAD kommen, können sie von einem Modellwerkstück abgenommen werden. Einzelne Stützpunkte an der Kontur, in beliebigem Abstand zueinander, werden in allen fünf Achsen mit dem Handrad angefahren und anschließend mit einem Tastendruck in die Steuerung übernommen.

Die Spline-Erstellung erfolgt mit einem Rechnerlauf, wobei auch die Satznummern automatisch generiert werden. Zusätzliche Punkte können noch nachträglich ins Programm aufgenommen.

Abb. 11: Seitlich verschiebbares Bedienfeld und tragbares Handbediengerät



men werden. Die Anwendung kartesischer Nullpunktkorrekturen ist auch im Spline-Programm möglich. Beim Abarbeiten wird die programmierte Vorschubgeschwindigkeit auf der Spline-Bahn eingehalten und nicht nur auf den Sehnen zwischen den Stützpunkten.

Universelle Einsetzbarkeit

Beliebige Bearbeitungsarten in allen Richtungen, mit jeder Neigung, sind innerhalb eines Quaders von $2500 \times 500 \times 800$ mm möglich. Ob an den fünf Seiten eines Würfels oder auf einer Halbkugel, der freien Wahl des

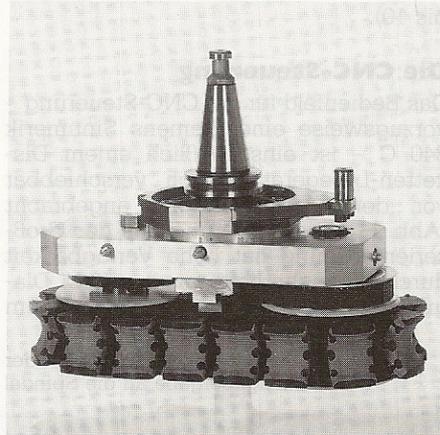


Abb. 10: SK40-Schleifaggregat für Flach- und Profilbänder

Konturverlaufs sind keine Grenzen gesetzt. Das zu bearbeitende Material ist nur von der eingesetzten Hauptspindel, 2 bis 20 kW, 18000 min^{-1} (24000, 30000, 50000 min^{-1}) abhängig. Mit Vorschubgeschwindigkeiten bis zu 20 m/min können außer Holz und Kunststoffen, einschließlich faserverstärkten Kunststoffen, auch Aluminium und Verbundwerkstoffe mit hoher Präzision und Oberflächengüte bearbeitet werden.

Die Sicherheit

Vollkapselungen sind aufwendig und deshalb nicht in jedem Fall zweckmäßig, auch wenn damit die Schall- und Staubemissionen am einfachsten unterhalb der zulässigen Grenzwerte gehalten werden können. Bei diesem Maschinenaufbau ist der Mehraufwand verhältnismäßig gering, da er sich auf die Verschlussmechanismen der notwendigen Zugangsöffnungen beschränkt.

Trotz voller Abschirmung sind alle Bereiche sehr gut zugänglich (Abb. 13). Die Beschickung und Entladung der Werkstücke erfolgt außerhalb der Kabine. Während des Bearbeitungsvorgangs sind die Türen automatisch verriegelt. Öffnen und Schließen der seitlichen Durchlässe werden beim Verfahren des Tandemtisches selbstständig gesteuert.

Abb. 12: Interpolationsarten

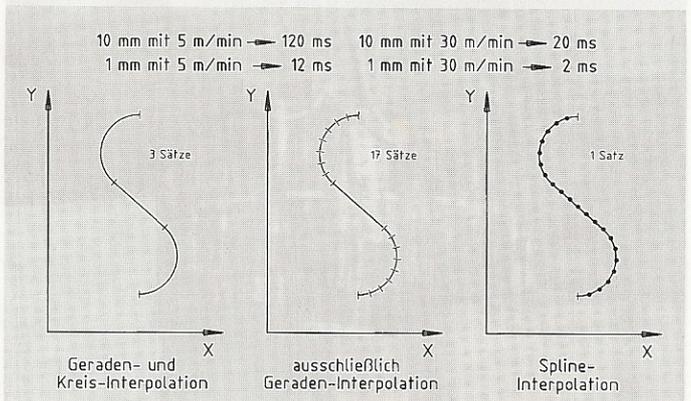




Abb. 13: Gesamtansicht, Türen geöffnet,
linke Tischnälfte in Arbeitsstellung
(Bildnachweis: Reichenbacher)

Der gut einsehbare und beleuchtete Innenraum ist bei geschlossenen Türen im begehbaren Bereich auf Tischhöhe abgedeckt (Abb. 2). Damit wird der Fußraum von Spänen freigehalten und gleichzeitig verhindert, daß sich während der Bearbeitung Personen in der Kabine aufhalten.

Die integrierte Absaugung wird durch ein leistungsstarkes Gebläse und Strömungsleittechnik unterstützt.

Bei diesem Bearbeitungszentrum fanden heutige und zukünftige Anforderungen an die Betriebe Berücksichtigung:

- Flexibilität für steigende Produktivität trotz kleiner Losgrößen,
- schnellere Produktpassung an Marktverschiebungen und erweiterte Produktvielfalt mit größerem Variantenreichtum,
- kürzere Durchlaufzeiten mit kleineren Lagerbeständen und
- bessere Termintreue.

Das Besondere an dieser Maschinenausführung ist, daß sie Sicherheitsempfehlungen und -vorschriften optimal erfüllt, einschließlich der Begrenzung der Lärm- und Staubemissionen, ohne daß an der Zielsetzung nach Flexibilität und Einsatzbreite Abstriche gemacht werden mußten – also Humanisierung der Arbeitsstätte bei gleichzeitiger Steigerung der Wirtschaftlichkeit.