Forschungsbericht

AiF-Mitgliedsvereinigung (MV): IVTH Forschungsvorhaben Nr:: **54 ZBR**

Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Parallelkinematischen Bearbeitungszentrums für Holzformteile

Forschungsstelle 1
Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen,
Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik,
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

Forschungsstelle 2
Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen,
Institut für Holz- und Papiertechnik,
Prof. Dr.-Ing. A. Wagenführ

Projektlaufzeit 01.10.2001 bis 31.12.2003

Zielstellungen des Projektes und erreichte Ergebnisse

Durch das neuartige Parallelkinematische Bearbeitungszentrum für Holzformteile - mit den für diese Werkstücke typischen, verfahrens- und designbedingten räumlich gekrümmten Flächen - soll der zur Bearbeitung immer noch erhebliche Anteil von Handarbeit deutlich gesenkt werden. Der Lösungsschlüssel liegt dazu in der intelligenten Nutzung der 6 Freiheitsgrade der Parallelkinematik und der ganzheitlichen Behandlung von Verfahren, Technologie und Maschine.

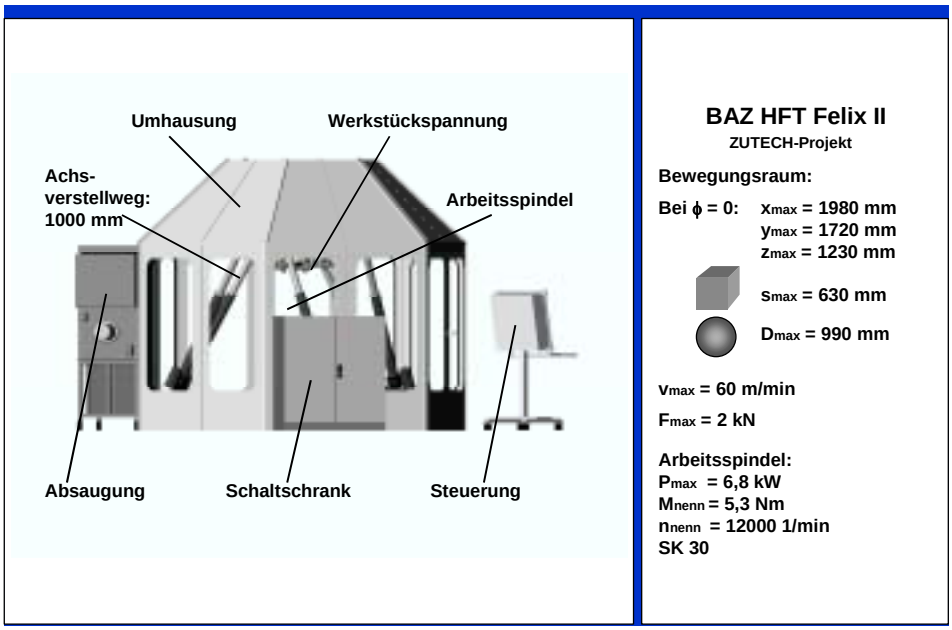

Abbildung 1: Das Bearbeitungszentrum mit den wichtigsten Modulen

In

Abbildung 1 sind wichtige Daten und im Projekt bearbeitete Maschinenmodule aufgeführt.

Das Projekt stellte die Aufgabe, eine neue Verfahrenslinie mit einem Parallelkinematischen Bearbeitungszentrum zu entwickeln und als Prototyp zu bauen.
Das Bearbeitungszentrum für typische Holzformteile ist durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Einsatz einer parallelkinematischen Bewegungseinheit einfacher Bauart mit 6 Freiheitsgraden, wie in Abbildung 2 dargestellt.

- Das Werkstück wird an einer von der Parallelkinematik bewegten Plattform aufgenommen und relativ zu fundamentseitig feststehenden Arbeitsspindeln bewegt.
- An dem fundamentseitig feststehenden Werkzeugspindelträger können mehrere Spindeln aufgenommen und mit Werkzeugen bestückt werden. Damit soll eine weitgehende Komplettbearbeitung ohne Werkzeugwechsel ermöglicht werden.
- Die Spannvorrichtungen sind so gestaltet, dass einerseits eine sichere Teilefixierung gewährleistet ist und andererseits eine Komplettbearbeitung ermöglicht wird.

Abbildung 2: Parallelkinematischen Bewegungseinheit einfacher Bauart, Hexapod „Felix“

Der realisierte Prototyp entspricht vollständig diesen in der Aufgabenstellung formulierten Kriterien. Schwerpunkte der wissenschaftlichen Problemstellungen waren Lagezuordnung, Bewegungssteuerung und Genauigkeit.

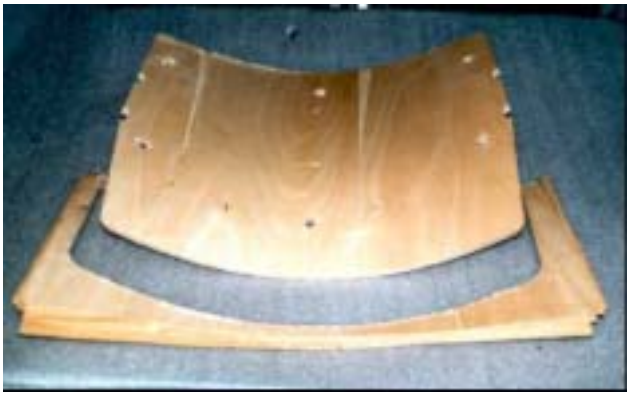

Abbildung 3: Fertigteil mit Rohteil-Verschnitt

In Abbildung 3 ist ein charakteristischer Typenvertreter für die als Schwerpunkt untersuchte Teileklasse dargestellt. Die Problemmerkmale (unregelmäßige „ausgefranste“ Rohlingsaußenkontur, keine Durchbrüche im Rohteil, Risse und Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche des Holzwerkstoffes) sind deutlich zu erkennen.

Zu ausgewählten konstruktiven Lösungen

Der Werkstückträger

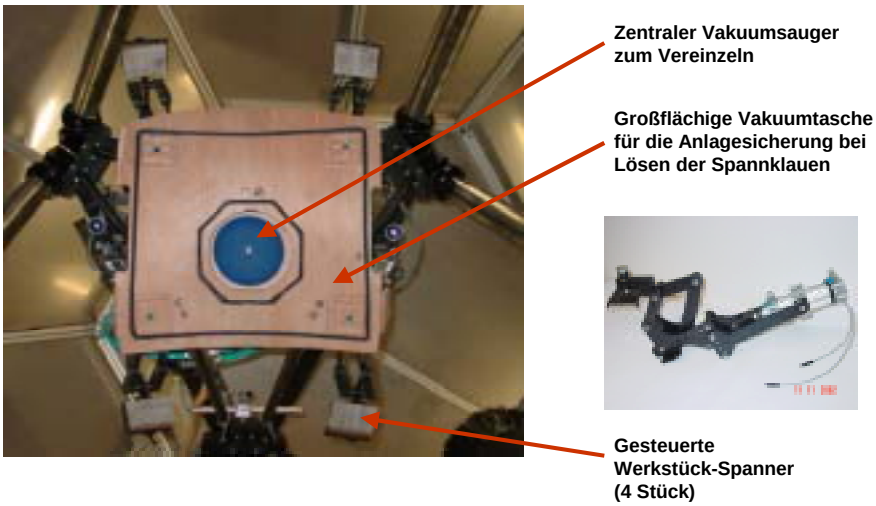

Abbildung 4**: Ansicht von Spindel zu Spannvorrichtung an der Plattform**

Die Werkstückrohlinge werden am Übergabeplatz von der bewegten Plattform lagerichtig übernommen, großflächig angesaugt und mit den in Abbildung 4 angezogenen Spannpratzen an den Stützträger gespannt. Da die Bearbeitungsaufgabe ein vollständiges Überfräsen der Rohlings-Außenkontur verlangt, sind die Spannpratzen in die Steuerung einbezogen, werden bei Annäherung des Fräsers geöffnet und nach erfolgter Bearbeitung des Abschnittes wieder geschlossen, um bereits wieder wirksam zu sein, wenn die auf dem Fräserweg nachfolgende Spannpratze öffnen muss.

Der Spindelträger

Der von der Bewegungseinrichtung getrennt auf dem Fundament stehende Spindelträger bietet eine steife und schwingungsarme Basis für die hochtourige Maschinenspindel.
Am Prototyp wurde zusätzlich zur Hauptspindel eine absenkbare Nebenspindel mit einem für einfache Bohrarbeiten dimensionierten kleinen Spindelmotor angebracht und erfolgreich in die technologische Erprobung einbezogen.

Gestaltung und Optimierung von Spindelaufnahme und Absaugung

Die Erprobung von Spindelhalterung und Absaugung lieferte in der ursprünglichen Ausführung (linke Skizze in Abbildung 5) folgende Ergebnisse:

- Die Absauggeschwindigkeit der Luft im Bereich der Wirkstelle in Werkzeugnähe erwies sich für einen guten Späne-Erfassungsgrad als zu gering,
- Der zwangsläufig große Durchmesser bei der streng modular gestalteten Absaugung führte zu erheblichen Störkonturen im Bewegungsraum und damit zu ernsthaften Einschränkungen und Kollisionsmöglichkeiten.

In Konsequenz folgte eine Neugestaltung der Absaugung und der Aufnahme des Spindelmotors. Durch die Nutzung der Stützhülse des Spindelmotors für die Luftführung konnte im Ergebnis das Problem der Störkontur optimal gelöst werden und gleichzeitig eine erhebliche Verbesserung der Absaugwirkung in Werkzeugnähe erreicht werden. Die damit verbundene Schwächung der Motorspindel-Traghülse konnte durch geeignete Gestaltung in den vorhandenen Festigkeits- und Steifigkeitsreserven abgefangen werden.
Prinzipielle neue Gestaltung und erreichte Wirkungsverbesserung sind rechts in Abbildung 5 dargestellt.

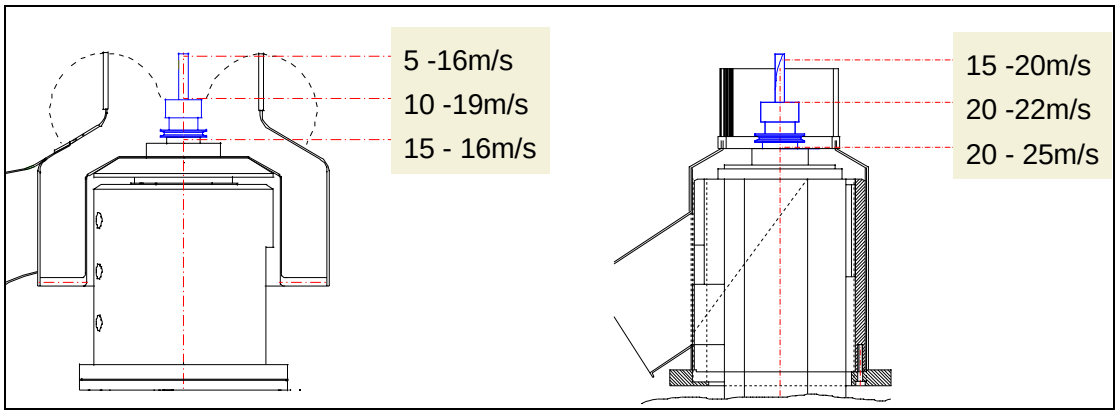

Abbildung 5: Spindelhalterung mit Absaugung (links alt, rechts neu) und erreichte Absauggeschwindigkeiten

Mit der neuen Lösung konnte der Durchmesser der Störkonturen der Bearbeitungseinheit auf ca. 50% verringert werden. Das führt zu

- Vergrößerung des möglichen Schwenkbereiches der Werkstücke um ca. 15 – 30°,
- erhebliche Verbesserung der Späneerfassung. Bei den ausgeführten Bearbeitungen mit Verwendung üblicher Spänefangbürsten konnte eine Erfassung von über 90% erreicht werden. (Die konkreten Erfassungsgrade sind wesentlich von Werkzeug und Bearbeitungsrichtung abhängig.)
- möglichem Einsatz kürzerer Werkzeuge. Dadurch erhöhen sich Bearbeitungsstabilität, Produktivität und der Umfang der möglichen Arbeitsvorgänge.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die so erreichten Ergebnisse für industrielle Bearbeitungsverfahren vergleichsweise einer sehr guten Späneerfassung entsprechen.

Lageerfassung der Werkstück-Rohlinge

Das lagegerechte Aufnehmen der Rohlinge gehört zu den zentralen Problemen, die hier für eine Prozessautomatisierung gelöst werden müssen. Einem Rohling wird seine Geometrie in der Pressform eingeprägt, die unregelmäßige Außenform kann für einen Geometriebezug in den Folgeprozessen aber nicht verwendet werden. Die bisher praktizierte Technologie sieht deshalb bei den nachfolgenden Bearbeitungsprozessen ein manuelles Ausrichten der Werkstücke nach Sicht auf kleine beim Pressvorgang mit eingebrachte Markierungen vor, die Solllage wird dabei durch den Lichtpunkt eines Laserpointers repräsentiert.

Die ursprünglich angedachte Lösung mit Bezugsbohrungen und Suchstiften wurde bereits im frühen Arbeitsabschnitt als nicht praxisgerecht verworfen und als Alternative der Einsatz der Bildverarbeitung geprüft. Diese Änderung wurde im Projektbegleitenden Ausschuss 12/2002 beraten und mit den vorgestellten Prämissen ausdrücklich befürwortet. Im Einzelnen waren dazu folgende Teilaufgaben zu lösen:

- Praxisgerechte robuste und optisch sichere Markierung der Rohlinge während des Pressvorganges
- Auswahl eines industriegemäßen Bildverarbeitungssystems
- Identifikation der exemplarischen Rohlingslage auf dem Bereitstellungsplatz durch das Bildverarbeitungssystem und Berechnung der daraus resultierenden Übernahmekoordinaten unter Nutzung der 6 Freiheitsgrade der parallelkinematischen Maschine.

Hier zeigen sich die Nutzungsmöglichkeiten der parallelkinematischen Freiheitsgrade besonders deutlich: Die Maschine folgt den zufälligen exemplarischen Lagekoordinaten des Rohlings in Position und Winkel. Interessanterweise kommt hierbei besonders der Drehung der Spannvorrichtung um die z-Achse besondere Wertigkeit zu, also dem Freiheitsgrad, der bei um die z-Achse rotierenden Werkzeugen meist als „überflüssig“ betrachtet wird.

Zum Themenabschluss 12/2003 wurde das überzeugende Testergebnis den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses am Demonstrator vorgestellt und gemeinsam als tragfähiger Lösungswegakzeptiert.

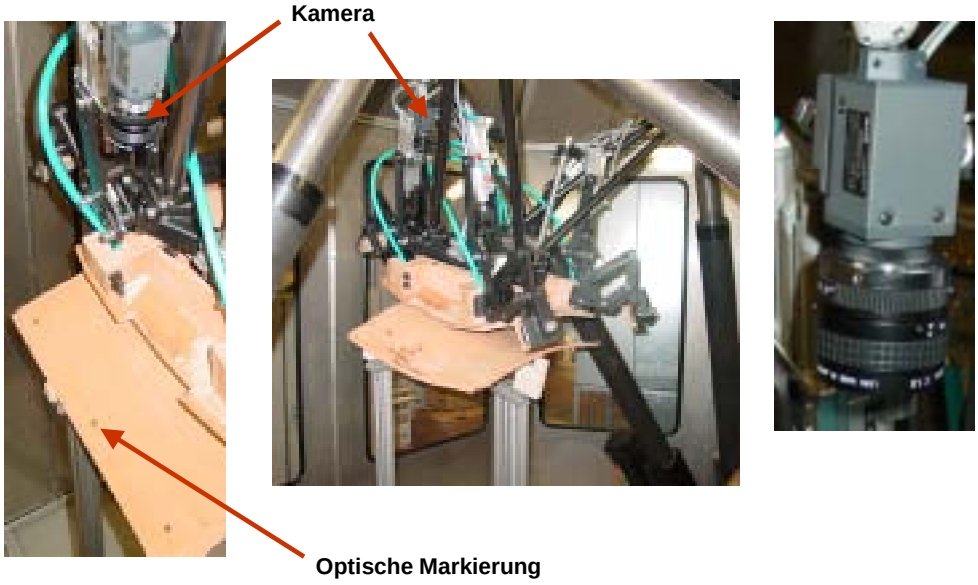

Abbildung 6: Kameraanordnungen und Markierung auf dem Rohling

Steuerungsentwicklung und Technologiespezifika

Bereits die Aufgabenstellung hatte verdeutlicht, dass bei diesem Projekt sowohl vom Arbeitsumfang wie auch vom wissenschaftlichen Anspruch ein wesentlicher Teil der Innovation vom Steuerungsbereich zu leisten ist. Es galt hier

- erbrachte wissenschaftlich-technische Vorarbeiten praxisgerecht in eine Industrieausführung umzusetzen,
- parallel zu den maschinentechnischen die steuerungsseitigen Lösungen zu entwickeln und
- für neue spezifische Technologien eine sichere Handhabung und Programmierung zu gewährleisten.

Die offene Steuerung mit hexapodspezifischen Modulen

Bei den Steuerungsentwicklungen für Parallelkinematiken hat das Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik - nach den Kriterien einer entsprechenden Vorauswahl - auf der kommerziellen offenen Steuerung BOSCH typ3osa aufgesetzt.
Ausgangspunkt für die Bewegungserzeugung ist auch hier eine lokale Darstellung der gewünschten Relativbewegung, an Werkzeugmaschinen in der Regel die Relativbewegung des Werkzeuges in Werkstückkoordinaten. Üblicherweise erfolgt das in kartesischen Koordinaten. Für die Bahnerzeugung wird die so vorgegebene lokale Relativbewegung in einzelne Stützposen zerlegt (Grobinterpolation).
Aus den so ermittelten Achssollwerten wird eine Folge von Linearsätzen (G1) als NC-Datei nach DIN 66025 erzeugt und diese zur Abarbeitung an den NC-Kern übergeben und gestartet.

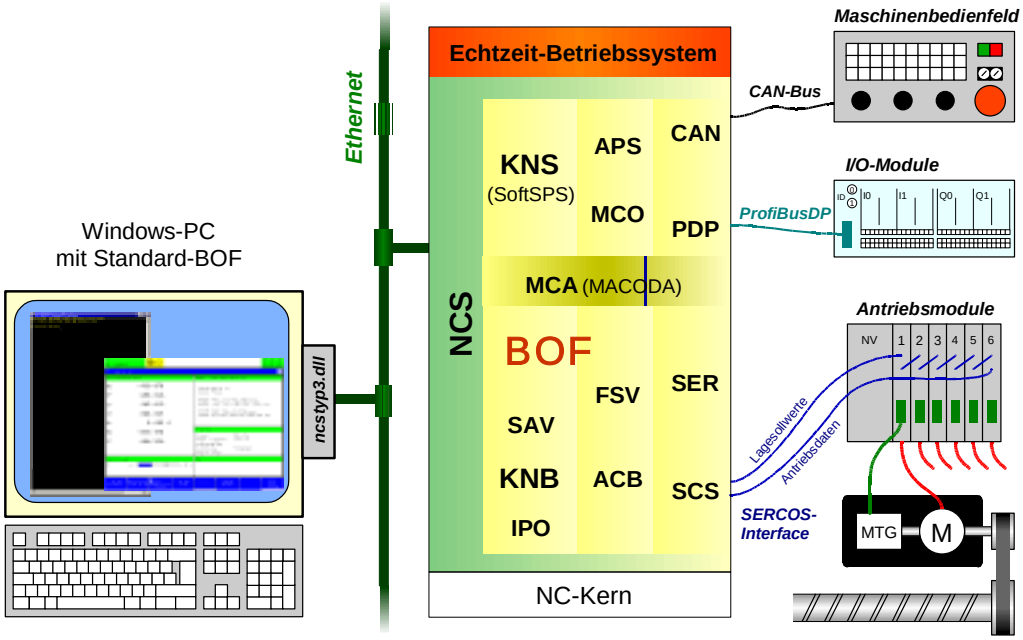

Abbildung 7: Die Struktur der eingesetzten Hexapod-Steuerung

Die Synchronisation der 6 Stabachsen erfolgt durch die Basisfunktionalität im NC-Kern, die die Achssollwerte zwischen den einzelnen Stützposen linear interpoliert.
Die praktizierte Herangehensweise zeigt Merkmale eines „Offline-Konzeptes“:

- Effiziente Bahn- und Bewegungsprüfung durch Simulation des kompletten Bewegungsprogramms im Vorfeld einer realen Bewegung,
- Berechnung und Abarbeitung erfolgt (weitgehend) außerhalb des NC-Kerns
- für einen Großteil dieser Aufgaben können Werkzeuge und Leistungsfähigkeit des PC genutzt werden.

Abbildung 7 zeigt die dazu verwendete Steuerungsstruktur.

Die Bedienoberfläche

Große Bedeutung für die Anwendung, Nutzung und Akzeptanz durch den Nutzer der Steuerung kommt der Gestaltung der Bedienoberfläche zu.
Ein Beispiel für die im Projekt ausgeführte Bedienoberflächen zeigt Abbildung 8 und verdeutlicht dabei die anspruchsvolle Aufgabe, die Bereitstellung vom Bediener benötigter Informationen mit Übersichtlichkeit und Klarheit zu verbinden.

Große Bedeutung für die Handhabbarkeit des Steuerungssystems haben Definition und Nutzung (beliebig vieler) lokaler Koordinatensysteme. So wird der zusätzlich angeordneten Nebenspindel ein eigenes lokales Koordinatensystem zugeordnet. Es genügt ein Aufruf dieses symbolischen Namens und die Bewegung des an der Plattform befestigten Werkstückes – beispielsweise für das Einbringen einer Bohrung - wird von der Steuerung automatisch in allen 6 Freiheitsgraden in dieses Koordinatensystem umgerechnet. Für die mechanische Montage der Nebenspindel können damit ohne Genauigkeitsverlust grobe Toleranzen zugelassen werden, nur die Kenntnis der exemplarischen Lage im globalen Maschinen-Koordinatensystem ist für das Ergebnis wichtig...
Die am Demonstrator erarbeiteten Methoden und erreichten Ergebnisse belegen, dass auch hinsichtlich der Beherrschbarkeit der Genauigkeitsanforderungen für die Bearbeitungsgenauigkeit bis zu Toleranzen von 0,1 mm tragfähige Voraussetzungen vorliegen.

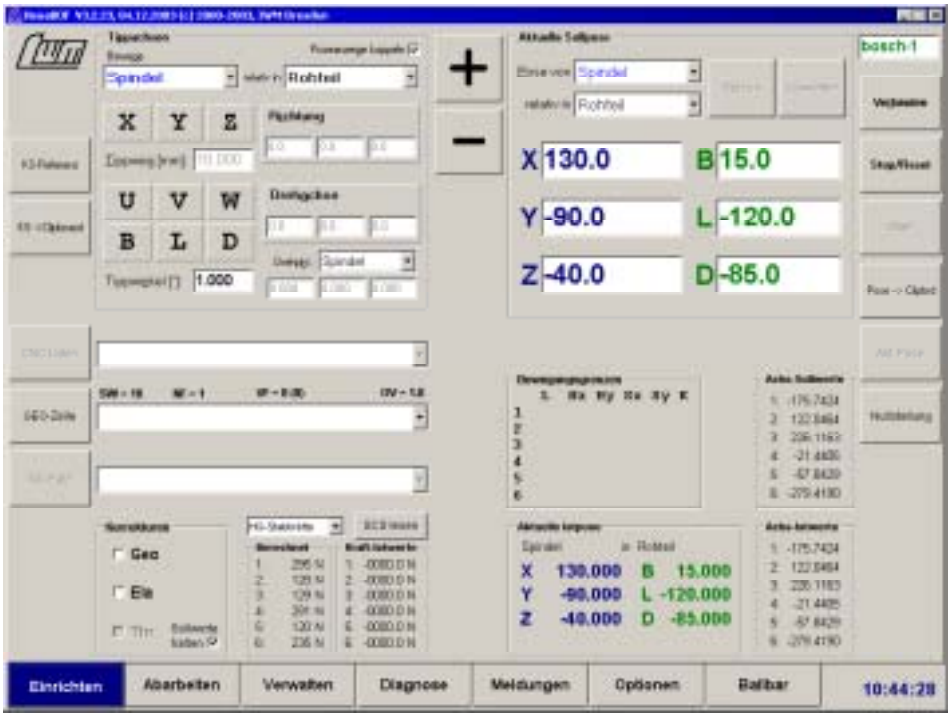

Abbildung 8: Gestaltungsbeispiel für die Bedienoberfläche

Das Ergebnis belegt das Erreichen der Hauptzielstellungen

- Softwaregestützte Lageoptimierung der räumlich gekrümmten Werkstücke im Bewegungsraum zur Bearbeitung und zur Anordnung der Arbeitsspindeln
- Angemessene einfache robuste Gestaltung für den projektierten Belastungs- und Genauigkeitsbereich bei relativ großem Bewegungsraum und relativ kleiner Aufstellfläche
- Angemessene funktionell-konstruktiven Gestaltungen
- Problem- und anwendungsgerechte Steuerungsalgorithmen und Steuerungsoberflächen
- Innovative Technologieansätze
- Voraussetzungen für einen günstigen Preis

Zum Themenabschluss wurden vor dem Projektbegleitenden Ausschuss die erreichten Projektergebnisse als aussagefähige Demonstration vorgeführt.

Weitere Literatur

- 5. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar 05. und 06. Dezember 2002
  „Holzbearbeitung auf Parallelkinematiken“
  Tagungsband 5. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar 05. und 06. Dezember 2002
- 7. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar 04. und 05. Dezember 2003
  „Innovative Bearbeitungstechnologien für Holzformteile“
  Tagungsband 7. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar 04. und 05. Dezember 2003

Beide Tagungsbände sowie eine CD: „Holzbearbeitung auf Hexapod“; TU Dresden IWM; 2004 können über IVHT bestellt werden.

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) und den Internationalen Verein für Technische Holzfragen (iVTH) gefördert.
Förderkennzeichen 54 ZBR