

zeitraubenden Prozeduren entlastet. Weitergehende Lösungen bedürfen
eigene Prozeduren für die Interpolation und Lageregelung. Aber
auch diese Steuerungen sind auf ein begrenztes Spektrum von Standard-
Aufgaben für die immer noch nicht den Erwartungen entsprechenden
Verbreitung der NC-Technik ist u.a. in der geringen Flexibilität
herkömmlicher Steuerungen gegenüber nicht-standard-Anwendungen zu
sehen. Auch der Übergang von der konventionellen verdrahteten NC
zur weitgehend "softwarerealisierten NC", der CNC, erbrachte keine
grundlegende Verbesserung dieser Situation, da Änderungen in einem
komplexen Softwarepaket ebenfalls sehr aufwendig sind.

Mehrprozessor-Steuerung (MPST)

Systemgedanke und Systemstruktur

Die Lösung der Steuerungsaufgaben wird durch die Verteilung der
Steuerungsfunktionen auf mehrere Prozessoren ermöglicht. Die
Anforderungen an die Steuerungen sind durch die Verteilung der
vom Anwender selbst übernahmene nicht vorzunehmen, da es keine Infor-
mation über die internen Zustände der einzelnen Steuerungs-
einheiten gibt. Die Steuerungseinheiten zählen.

Ein weiterer Nachteil herkömmlicher Steuerungssysteme liegt darin,
daß sie dem raschen technologischen Fortschritt auf dem Elektronik-
sektor nicht nachgefolgt werden können. Die Folge ist ein schnelles
Veralten der Steuerungsgeneratoren.

Dipl.- Ing. K.F. Baukloh

Dipl.- Ing. K. Werth

Dipl.- Ing. D. Plasch

Bei Einprozessor-Lösungen erfordert die zeitliche Prozessoren-
aufteilung der Steuerungs- und Interpolationsaufgaben, wie z.B. die Interpolation oder Interpolation, die
hoch zusätzliche Hardwareanforderungen für rechnerintensive Rech-
zeitaufgaben, die Interpolation oder Interpolation, die
daher natürlich unflexibel gegenüber sich ändernden Anforderungen
der Achsbewegungen sind. Außerdem ist eine hohe Flexibilität
tatsächlich nur in beschränktem Maße möglich.

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre
der RWTH Aachen

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen,
Universität Stuttgart

26.07.1980

Erste Verbesserungen ergaben sich, zum Beispiel durch die
zeitliche Belastung der intelligenten Hardware, durch die Kombi-
nation mehrerer Prozessoren in einer Steuerung. So wurde beispiels-
weise in einigen Steuerungssystemen die Ein/Ausgabe der Daten an
die Benutzer- oder die Prozessperipherie von speziellen E/A-Prozessoren
übernommen und damit der eigentliche Steuerungsrechner von diesen
abgelastet. Ein Nachteil dieser Lösung ist die Verteilung der
Steuerungsfunktionen auf mehrere Prozessoren.

1. Einführung

Ein Grund für die immer noch nicht den Erwartungen entsprechende Verbreitung der NC-Technik ist u.a. in der geringen Flexibilität herkömmlicher Steuerungen gegenüber Nicht-Standard-Anwendungen zu sehen. Auch der Übergang von der konventionellen verdrahteten NC zur weitgehend "softwarerealisierten NC", der CNC, erbrachte keine grundlegende Verbesserung dieser Situation, da Änderungen in einem komplexen Softwarepaket ebenfalls sehr aufwendig sind.

So blieben große Bereiche auf dem Werkzeugmaschinen Sektor von der Automatisierung durch die NC-Technik weitgehend ausgeklammert. Nachträgliche Funktionserweiterungen oder eine Anpassung an spezielle Anwenderprobleme waren wegen der hohen Kosten fast unmöglich und vom Anwender selbst überhaupt nicht vorzunehmen, da er keine Information über die internen Nahtstellen erhielt, die zum "know-how" des Steuerungsherstellers zählen.

Ein weiterer Nachteil herkömmlicher Steuerungssysteme liegt darin, daß sie dem raschen technologischen Fortschritt auf dem Elektroniksektor nicht nachgeführt werden können. Die Folge ist ein schnelles Veralten der Steuerungs generationen.

Bei Einprozessor-Lösungen erfordert die zeitliche Prozessorauslastung noch zusätzliche Hardwareschaltungen für rechenzeitintensive Echtzeitaufgaben, wie z.B. die Lageregelung oder Interpolation, die daher natürlich unflexibel gegenüber sich ändernden Anforderungen der Achsantriebe bleiben. Außerdem ist eine Erweiterung des Funktionsumfangs nur in beschränktem Maße möglich.

Erste Verbesserungen ergaben sich, zumindest im Hinblick auf die zeitliche Belastung der intelligenten Hardware, durch die Kombination mehrerer Prozessoren in einer Steuerung. So wurde beispielsweise in einigen Steuerungssystemen die Ein/Ausgabe der Daten an die Benutzer- oder die Prozeßperipherie von speziellen E/A-Prozessoren übernommen und damit der eigentliche Steuerungsrechner von diesen

zeitraubenden Prozeduren entlastet. Weitergehende Lösungen benutzen eigene Prozessoren für die Interpolation und Lageregelung. Aber auch diese Steuerungen sind auf ein begrenztes Spektrum von Standardanwendungen ausgelegt und wegen der fehlenden Transparenz der internen Nahtstellen kaum an abweichende Aufgabenstellungen anpaßbar.

2. Zielsetzung

In dieser Situation setzte sich der MPST-Arbeitskreis ¹⁾ das Ziel, ein modulares Mehrprozessor-Steuerungssystem zu entwickeln, welches mit erträglichem Aufwand die oben angeführte Inflexibilität bisheriger NC-Generationen weitgehend vermeidet. Dazu ist anzuführen, daß die Entwicklung im Preis/Leistungsverhältnis auf dem Mikroprozessorsektor den Trend zu Mehrprozessor-Systemen unterstützt.

Bei der Entwicklung des MPST-Systems standen folgende Kriterien im Vordergrund:

- Systemkonzept soll kostengünstiges Minimalsystem für Standardanwendungen zulassen.
- Minimalsystem soll durch Erweiterungen für komplexe Steuerungsaufgaben nachrüstbar sein.
- System soll an weite Bereiche verschiedenartiger Aufgabenstellungen anpaßbar sein.
- System soll hohen Echtzeitanforderungen genügen.
- Neue Entwicklungen auf dem Bauelemente-Sektor sollen leicht zu integrieren sein.
- System soll große Anzahl von Ein/Ausgabekanälen zulassen.
- System soll großen internen NC-Programmspeicher ermöglichen.

Ein grundlegender Gesichtspunkt:

- Universalität soll nicht durch zu großen Aufwand erkauft werden.

Daraus läßt sich ein Katalog von technischen Anforderungen an das zu realisierende Konzept ableiten, deren wichtigste im folgenden stichpunktartig aufgeführt sein sollen:

- Einheitliche, leistungsfähige Hardwarenahtstellen der zu koppelnden Module
- Modulares Software-Konzept mit einheitlichen, leistungsfähigen Nahtstellen
- Leistungsfähige Koordinationsoperationen
- Einheitliche Beauftragungsverfahren in Systemverwaltung
- Schneller Verbindungskanal (Bussystem)
- Verarbeitungsdaten zum Bussystem transparent
- kurze Reaktionszeiten der Module
- Großer interner Adressraum (für Datenaustausch, NC-Programmspeicher und Ein/Ausgaben).

3. Realisierung

Neben der auf diesen Kriterien basierenden Steuerungsarchitektur eines MPST-Systems soll im folgenden kurz die Hard- und Softwarestruktur aufgezeigt werden.

a) Systemkonzept

Die Voraussetzung für die Lösung einer gegebenen Datenverarbeitungsaufgabe mit verteilten Prozessoren ist die Aufteilbarkeit der Aufgabe in weitgehend unabhängige Blöcke, hier Funktionsblöcke (FB) genannt. Die Funktionsblöcke sind so festgelegt, daß sie später jeweils von einer eigenen Prozessorkarte bearbeitet werden können. Sie bestehen aus einer Anzahl zusammengehörender Funktionen, die i.a. Daten gleichen Inhalts bearbeiten - z.B. Geometriedaten. Mehrere Funktionen eines Funktionsblocks verarbeiten den gleichen Datenblock nacheinander. Es ist daher nicht sinnvoll, diese Funktionen auf verschiedenen Prozessorkarten anzusiedeln, da das zu unnötigen Datentransfers über das Bussystem führen würde.

Eine Analyse an Standardsteuerungen ergab folgende Aufteilung der grundlegenden NC-Aufgaben in Funktionsblöcke (Bild 1):

Der Funktionsblock "Bedien- und Steuerdaten Ein/Ausgabe" stellt die Verbindung zwischen Steuerung und Bedienerperipherie her, wie aus den beispielhaft dargestellten Ein/Ausgabe-Geräten zu ersehen ist. Eine Aufgabe ist z.B. die NC-Programmerstellung und -korrektur, die in Verbindung mit dem Funktionsblock "NC-Programmspeicher-Verwaltung" durchgeführt wird.

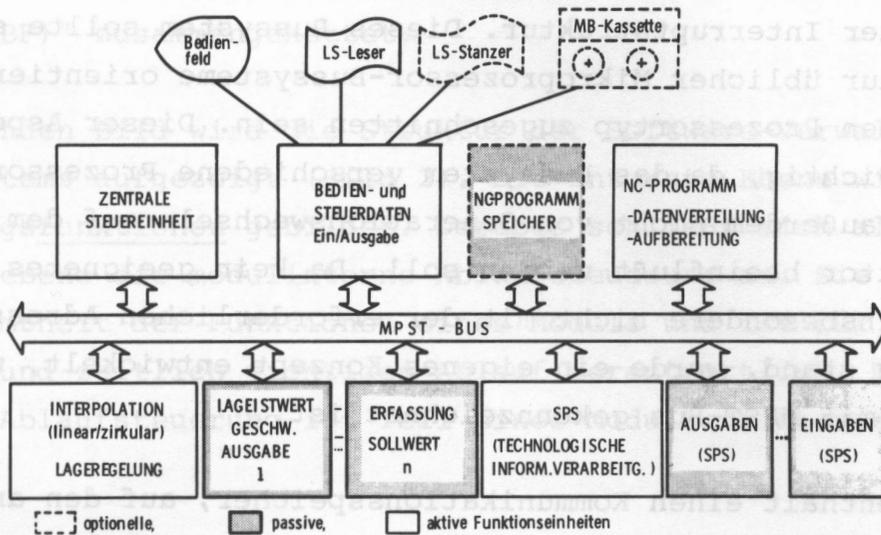


Bild 1: Grundlegende Funktionsblöcke eines MPST-Systems

Weitere Aufgaben dieses zuletzt genannten Moduls sind die Organisation des NC-Programmspeichers sowie die Dekodierung der in den NC-Programmen enthaltenen Steuerdaten und deren Verteilung, hauptsächlich auf die maschinennahen Funktionsblöcke "Geometrieverarbeitung" (Interpolation/Lageregelung) und "SPS" (Schalt- und Zählfunktionen). Der Datenaustausch mit den Stellelementen bzw. Meßsystemen an der Maschine erfolgt über passive Elektronikarten, die von den zugehörigen Funktionsblöcken - Geometrieverarbeitung bzw. SPS - verwaltet werden. Im Bild ist noch eine NC-Programmspeichererweiterung als weitere passive Karte dargestellt, die dem Funktionsblock NC-Programmspeicherverwaltung zugeordnet ist.

Die "Zentrale Steuereinheit" hat allein systembezogene Aufgaben zu erfüllen. Sie verwaltet das gemeinsame Bussystem, überwacht die einzelnen Module und koordiniert deren Ablauf. Eine weitere zentrale Aufgabe ist die Initialisierung des Systems nach dem Einschalten.

b) Hardware-Struktur

Aus dieser Aufteilung ergaben sich Anforderungen bezüglich des Hardwarekonzepts, insbesondere des Datenkanals zur Kopplung der Module. Anzahl und Geschwindigkeit der nötigen Datentransfers sowie erforderliche Reaktionszeiten der Module verlangten ein Parallelbussystem mit dynamischer Interruptstruktur. Dieses Bussystem sollte sich an der Struktur üblicher Mikroprozessor-Bussysteme orientieren, aber nicht auf einen Prozessortyp zugeschnitten sein. Dieser Aspekt ist deshalb wichtig, da das Bussystem verschiedene Prozessortypen zulassen und außerdem nicht von Generationswechseln auf dem Mikroprozessor-Sektor beeinflußt werden soll. Da kein geeignetes Parallelbussystem - insbesondere nicht mit der erforderlichen Adressbreite - zur Verfügung stand, wurde ein eigenes Konzept entwickelt, welches hier im Bild mit MPST-Bus gekennzeichnet ist.

Jedes Modul enthält einen Kommunikationsspeicher, auf den andere aktive Module über den MPST-Parallelbus zugreifen können. Neben den Signalleitungen sind auch die Grundprozeduren wie "aktives Lesen", "aktives Schreiben", "Busanforderung" u.ä. festgelegt sowie das Verhalten des am Datenaustausch beteiligten Moduls. Der interne Aufbau eines MPST-Moduls ist nicht vorgeschrieben; der Modul muß sich allerdings bezüglich der Schnittstelle den Festlegungen entsprechend verhalten. Auch die gemischte Verwendung von Modulen mit 8-bit- oder 16-bit-Prozessoren ist zugelassen.

c) Software-Struktur

Ebenso wichtig wie die Festlegung eines Bussystems einschließlich der erforderlichen Busprozeduren und der Anforderungen an das Interface ist eine Festlegung der Softwareeigenschaften bezüglich der Schnittstelle. Dies gilt sowohl für die Behandlung von Datenfeldern wie auch für die Koordinierung des Ablaufs der Funktionssoftware.

Denn erst dann, wenn alle Module sowohl hardware- als auch softwaremäßig an der Schnittstelle gleiches Verhalten aufweisen, ist ein Austausch bzw. das Einfügen neuer Module in ein bestehendes System möglich.

Es wurde ein Beauftragungsverfahren entwickelt, wodurch von einer "zentralen Ablaufsteuerung" einzelne Aktionen der Funktionsblöcke zu aktivieren und deren Ablauf mit anderen Aktionen zu koordinieren ist. Um die Einzelaktionen (hier Funktionen (F) genannt) nicht immer einzeln von außen beauftragen zu müssen, werden häufig in der gleichen Reihenfolge ablaufende Funktionen zu "Beauftragbaren Funktionen (BF)" zusammengekettet.

Im folgenden Bild wird die Struktur der Software-Verwaltung eines MPST-Systems aufgezeigt (Bild 2). Die unterste Ebene wird von den Steuerungsfunktionen gebildet. Darüber schließt sich als erste Verwaltungsebene die modulinterne Ablaufsteuerung an. Sie verwaltet die Gesamtheit der Funktionen eines Moduls und ist für deren logischen und zeitlich richtigen Ablauf verantwortlich. Die modulinterne Ablaufsteuerung ist Teil eines Modulbetriebssystems, welches

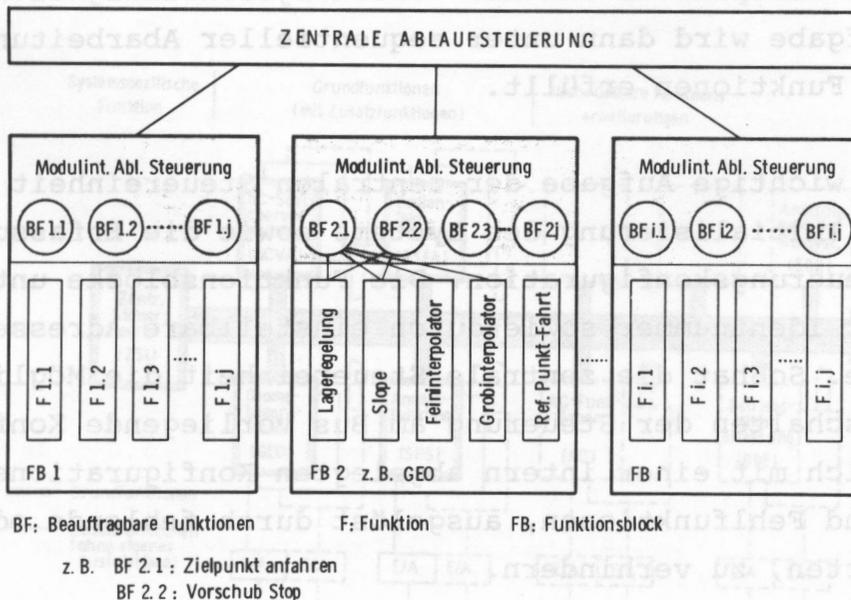


Bild 2: Software-Struktur eines MPST-Systems

außerdem noch die MPST-Prozeduren u.ä. ausführt. Das Modulbetriebssystem kommuniziert mit der Anwendersoftware über formale Aufrufe, so daß diese weitgehend unabhängig von den MPST-Prozeduren und der hardwaremäßigen Auslegung des MPST-Moduls erstellt werden kann.

Die zentrale Ablaufsteuerung repräsentiert die oberste, gesamtsystembezogene Verwaltungsebene. Diese ist dem Modul "Zentrale Steuereinheit" zugeordnet. In ihr liegt die gesamte Steuerungsaufgabe in Form mehrerer paralleler Auftragsketten vor, die frei programmierbar sind. Diese Ketten werden abhängig von dem Betriebszustand der Steuerung aufgerufen und die Aufträge synchronisiert an die Module ausgegeben.

Der Anstoß einer "beauftragbaren Funktion" (BF) - oder die Erteilung von Aufträgen - ist standardisiert durch die Definition von formalen Schnittstellen, den sogenannten Kontrollblöcken. Ein solcher Kontrollblock enthält u.a. Anweisungen, Zeiger auf Datenfelder, die zur Ausführung eines Auftrages benötigt werden, sowie Statusinformationen und Fehlermeldungen. Beispielhaft ist in Bild 2 die BF "Zielpunkt anfahren" dargestellt. Die Steuerung soll den Fahrweg zu einem bestimmten Zielpunkt generieren. Diese Anweisung wird an den Funktionsblock "Geometrieverarbeitung" übergeben, indem dort die BF "Zielpunkt anfahren" aufgerufen und mit Zeigern auf Datenfelder (mit den Daten des Zielpunktes und der Vorschubgeschwindigkeit) versorgt wird. Die Aufgabe wird dann unter sequentieller Abarbeitung der aufgeführten Funktionen erfüllt.

Eine weitere wichtige Aufgabe der zentralen Steuereinheit ist die automatische Initialisierung des Systems sowie die Erfassung der aktuellen Steuerungskonfiguration. Die Funktionsblöcke unterscheiden sich in einer Identnummer sowie durch einstellbare Adressen auf dem Bus-Interface. So hat die zentrale Steuereinheit die Möglichkeit, die nach dem Einschalten der Steuerung am Bus vorliegende Konfiguration durch Vergleich mit einer intern abgelegten Konfigurationsliste zu überprüfen und Fehlfunktionen, ausgelöst durch fehlende oder falsche Elektronikarten, zu verhindern.

Soll ein MPST-System erweitert werden, so muß der einzufügende Baustein die hier aufgezeigten Schnittstellenfestlegungen sowohl bezüglich der Hardware als auch der Software erfüllen. Um den Baustein

in das System integrieren zu können, ist ferner noch eine softwaremäßige Einbeziehung in den funktionalen Ablauf der Steuerung notwendig. Das Systemkonzept stellt sicher, daß dazu nur Änderungen an einer Stelle - in dem zentralen Steuerwerk - vorzunehmen sind: der neue Baustein ist in den Konfigurationslisten und den Auftragsketten der zentralen Ablaufsteuerung zu berücksichtigen. Eine weitere Voraussetzung besteht darin, daß andere Funktionsblöcke etwaige Daten, die von dem neuen Modul benötigt werden, in ihren Übergabebereichen zur Verfügung stellen.

Bild 3 zeigt eine mögliche Ausbaustufe eines MPST-Systems. Neben dem "Zentralen Steuerwerk" sind die anfangs des Vortrags definierten Standard-Funktionsblöcke zu sehen. Diese Funktionsblöcke können mehrfach vorhanden sein - z. B. mehrere Geometrieprozessoren bei Steuerungen an vielachsigen Maschinen. Außerdem können aber auch Funktionserweiterungen, die einem dieser Funktionsblöcke zuzuordnen sind, auf Zusatzmodulen in das System integriert werden. Zum Beispiel wäre die Funktionserweiterung "automatische Schnittaufteilung" bei der Drehbearbeitung dem Funktionsblock NC-Programmspeicherverwaltung zuzuordnen, da dieser Funktionsblock auch die geometrische Vorverarbeitung der Steuerdaten übernimmt. Ferner sind hier Erweiterungen

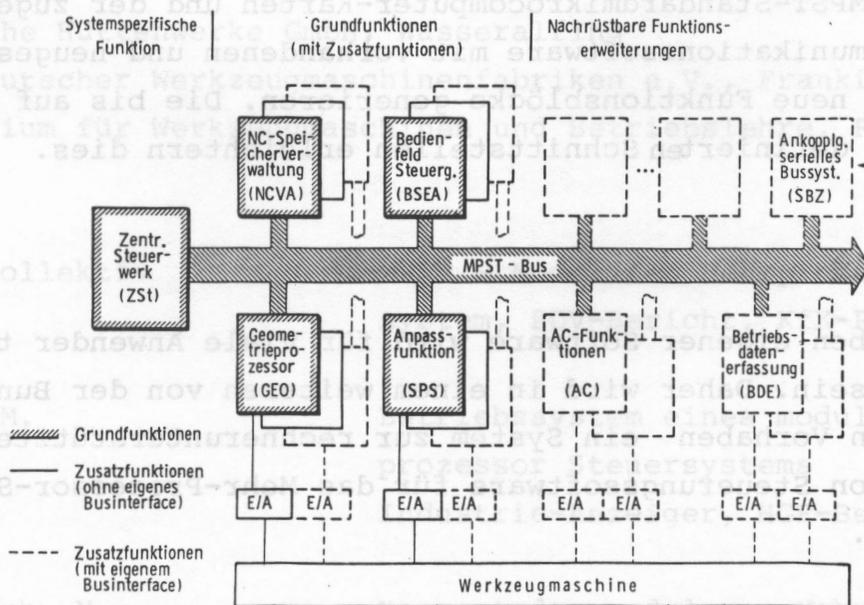


Bild 3: Beispiel für den Ausbau eines MPST-Systems

aufgeführt, die eigenständige Funktionsblöcke darstellen, wie eine Einheit zur Ankopplung eines seriellen Bussystems (DNC-Anschluß), eine Einheit zur Betriebsdatenerfassung und Adaptive-Control-Systeme, die relativ eigenständig zeitkritische Regelalgorithmen bearbeiten.

Zusammenfassung

Mit dem hier vorgestellten MPST-System wurde ein flexibles Steuerungskonzept entwickelt, welches der NC-Technik ein Vordringen auf den Bereich komplexer Werkzeugmaschinen ebenso ermöglichen soll wie eine größere Flexibilität gegenüber speziellen Anwenderproblemen. Außerdem wird mit MPST ein zu rasches Veralten von Steuerungsgenerationen vermieden. Die Universalität der Mikroprozessormodule, die auch in Bereichen außerhalb des Werkzeugmaschinenbaus eingesetzt werden können, ermöglicht eine preisgünstige Serienfertigung.

Für den Anwender, der das beschriebene Bausteinsystem nutzen will, bieten sich also Funktionsblöcke, die auf Standard-Mikroprozessorkarten realisiert sind. Mit Hilfe einer zentralen Ablaufsteuerung bestimmt er den endgültigen Ablauf des Steuerungsgeschehens unter Ausnutzung der leistungsfähigen "beauftragbaren Funktionen". Sind gewisse spezielle Funktionsblöcke nicht käuflich, so kann er mit gekauften MPST-Standardmikrocomputer-Karten und der zugehörigen Standardbuskommunikationssoftware mit vorhandenen und neugeschriebenen Funktionen neue Funktionsblöcke generieren. Die bis auf Funktionsebene klar definierten Schnittstellen erleichtern dies.

Ausblick:

Das Schreiben eigener Software wird für viele Anwender trotzdem schwierig sein. Daher wird in einem weiteren von der Bundesregierung geförderten Vorhaben ein System zur rechnerunterstützten Entwicklung von Steuerungssoftware für das Mehr-Prozessor-Steuersystem entwickelt.

Das Software-Generiersystem stellt komfortable Hilfsmittel zur Verfügung, um die Softwareentwicklung auf allen vorher beschriebenen Softwareebenen zu unterstützen. Das Zusammenbinden von Bibliotheksmodulen zur Funktionssoftware wird ebenso unterstützt wie die Erstellung von neuen Softwaremodulen. Die Softwaremodule können sowohl in höheren Programmiersprachen als auch auf Assembler-Ebene vorliegen. Mit Hilfe einer einfachen Verknüpfungssprache läßt sich die zentrale Ablaufsteuerung generieren, wodurch die "beauftragbaren Funktionen" so gekettet werden, daß sie die gestellte Steuerungsaufgabe erfüllen. Ebenso wird die Parameterversorgung zur Anpassung vorhandener Software an unterschiedliche Hardwaregegebenheiten unterstützt.

1)

MPST-Arbeitskreis:

- Robert Bosch GmbH, Erbach
- Brown, Boveri & Cie, Heidelberg
- Friedrich Deckel AG, München
- Fritz Werner Werk, Berlin
- Gildemeister/Max Müller, Hannover
- Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart
- Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Berlin
- Kernforschungszentrum Karlsruhe
- Schwäbische Hüttenwerke GmbH, Wasseralfing
- Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V., Frankfurt
- Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre, RWTH Aachen

Literatur:

1. Autorenkollektiv MPST - Modulares Mehrprozessor-Steuer-
system, PDV-Bericht, KfK-PDV 145, 1978
2. Spieth, M. Betriebssystem eines modularen Mehr-
prozessor Steuersystems
Industrie-Anzeiger, HGF-Bericht, 1979
3. Prof. Weck, M. Konzept des modularen Mehrprozessor-
Baukloh, K.F. Steuersystems (MPST)
Werth, K. Industrie-Anzeiger Nr. 37, 102. Jg.,
1980.