

## 6 Numerische Steuerungen

Eine wesentlich höhere Flexibilität als die im Kapitel 5 behandelten Ablaufsteuerungen mit Hilfe einer SPS bieten sogenannte numerische Steuerungen (engl.: numerical control, kurz: NC), bei denen Art und Reihenfolge der Fertigungsschritte für ein Werkstück in einem NC-Programm festgelegt sind, das die Steuerinformationen in Form von alphanumerischen Zeichen enthält. So zählt die NC-Steuerung – global betrachtet – zur Familie der Ablaufsteuerungen, wobei die einzelnen Steuerschritte durch NC-Sätze als alphanumerische Zeichen vorgegeben werden. Das Kernstück heutiger, moderner NC-Steuerungen ist in Mikroprozessortechnik realisiert. In modernen numerischen Steuerungen müssen nicht nur logische Verknüpfungen, sondern auch komplexe Rechenoperationen durchgeführt werden [108, 125, 127, 168, 193, 212, 218, 220].

### 6.1 Geschichtliche Entwicklung numerischer Steuerungen

Erste Konzepte für eine numerische Werkzeugmaschinensteuerung lieferte Parsons, der 1949 von der U.S. Air Force den Auftrag erhielt, eine Rechenmaschine zu entwickeln, um eine automatische Bearbeitung der immer komplizierter werdenden Flugzeugintegralteile zu ermöglichen [219].

Mit Hilfe von Parsons' Ideen wurde 1952 am Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) die erste numerische Steuerung für Werkzeugmaschinen auf der Basis von Elektronenröhren und elektromechanischen Relais entwickelt. Mit Hilfe der Dateneingabe über binär codierte Lochstreifen konnte eine Fräsmaschine eine simultane Bewegung in drei Achsen ausführen [127].

Ab 1960 wurden die teuren und empfindlichen Relais- und Röhrensteuerungen, die bis zu diesem Zeitpunkt jedoch keine Verbreitung finden konnten, durch NCs in Transistortechnik ersetzt. Diese Ausführungen numerischer Steuerungen (bis etwa 1975) waren vollständig mit festverdrahteten, diskreten Halbleiterbauelementen der digitalen Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel 5.2) aufgebaut und wurden als verbindungsprogrammierte NC-Steuerungen bezeichnet. Für jede Anwendung (Drehen, Fräsen usw.) mussten entsprechende, zugeschnittene Lösungen entwickelt werden. Änderungen und Erweiterungen der Steuerungsfunktionen waren ausschließlich mit aufwändiger Modifikation der Steuerungshardware möglich [168].

Steuerungen für einfache Bearbeitungsaufgaben wurden teilweise auch manuell mit codierten Steckern über ein Programmierfeld programmiert, indem – ähn-

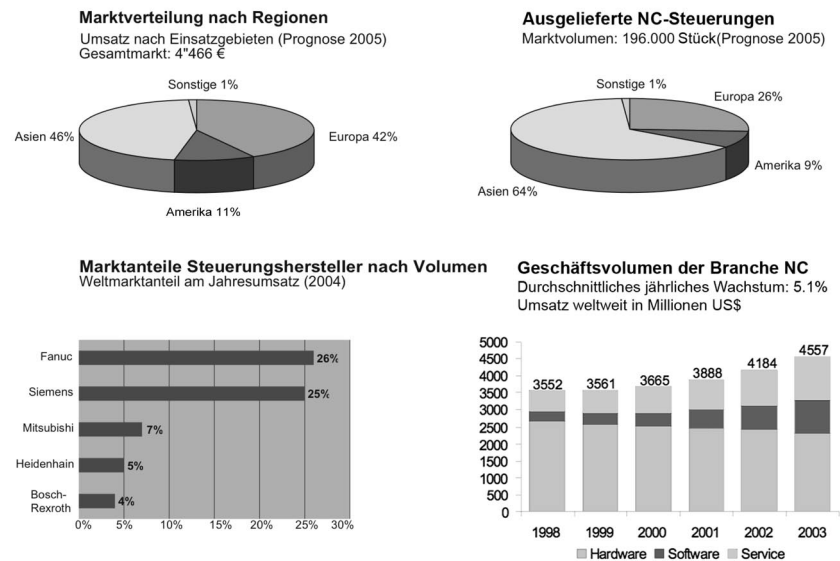


**Bild 6.1.** Anforderungen an die numerische Steuerung innerhalb der Werkzeugmaschine (nach [63])

lich einem Kreuzschienenverteiler – je Achse numerisch die Position und die Vorschubgeschwindigkeit sowie die Maschinenfunktionen eingegeben wurden. Änderungen von Programmteilen mussten durch Umstecken der Außenverdrahtung erfolgen (vgl. Kapitel 5.3.2). Die Bearbeitungsaufgabe ließ sich archivieren, indem eine Schablone in Form einer gelochten Plastikfolie vor dem Einfügen der Stecker auf das Datenmodulfeld gelegt wurde, die nach der Programmierung mit den Steckern abgezogen und aufbewahrt werden konnte.

Mit zunehmender Etablierung numerischer Steuerungen stiegen die anwenderseitigen Anforderungen an Verfügbarkeit, Flexibilität, Wartungsfreundlichkeit, Funktionsumfang und Bedienbarkeit der Steuerungen sowie an ihre einfache Anpassbarkeit an die jeweilige Maschinenart. Diese Anforderungen konnten von festverdrahteten Steuerungen nur mit großem Aufwand erfüllt werden. Mit der Entwicklung hochintegrierter elektronischer Bauelemente (IC-Technik) bot sich etwa ab 1968 eine einfachere und wirtschaftlichere Lösung zur Realisierung solcher komplexen Steuerungen an. Seit 1972 werden als zentrales Bauelement ein oder mehrere Rechner verwendet (zunächst bis etwa 1977 Minicomputer, danach zunehmend Mikrocomputer). Somit entstand die sogenannte CNC-Steuerung (Computerised Numerical Control).

Die Konzeption der NC-Steuerungen auf Rechnerbasis besteht darin, in großen Stückzahlen gebaute, einheitliche und zuverlässige Computerhardware durch Implementierung unterschiedlicher Systemprogramme an die jeweilige Fertigungs-



**Bild 6.2.** Weltmarkt für NC-Steuerungen im Überblick (nach Siemens, ARC)

aufgabe und die spezielle Maschine anzupassen. Damit können nachträglich noch zusätzliche Funktionen, die dem Hersteller oder dem Anwender optional angeboten werden, ohne wesentliche Änderungen der Hardware in die Steuerungssoftware eingefügt werden. Bis heute ist die Bedeutung der numerischen Steuerung für Werkzeugmaschinen aufgrund der zunehmenden Funktionalität stetig angestiegen (Bild 6.1).

Seit Ende der 70er Jahre enthalten alle NC-Steuerungen Mikroprozessoren. Der Begriff „CNC-Steuerung“ war zwar in der Übergangszeit sinnvoll, um die festverdrahtete NC-Steuerung von der Rechnersteuerung zu unterscheiden. Heute sollte jedoch die Bezeichnung „NC-Steuerung“ anstelle von CNC-Steuerung durchgängig verwendet werden.

Die Wettbewerbsfähigkeit von Werkzeugmaschinenherstellern und -anwendern wird in hohem Maße von Leistungsfähigkeit und Preis der eingesetzten Steuerung bestimmt. Gerade auf dem deshalb so entscheidenden Markt der Steuerungstechnik drohten jedoch Anfang der 90er Jahre die europäischen Hersteller den Anschluss zu verlieren. Japanische Produkte beherrschten insbesondere bei NC-Steuerungen sowohl im Hinblick auf die Technologie als auch im Hinblick auf die Stückzahlen den Weltmarkt. Seitdem hat sich der Markt der zeitweise über 60 europäischen Steuerungshersteller, die überwiegend auf dem europäischen Markt vertreten waren, erheblich konsolidiert. Nach zahlreichen Übernahmen und Zusammenschlüssen sind im Jahre 2000 noch 5 namhafte europäische Hersteller mit numerischen

Steuerungen auf dem Weltmarkt vertreten (Bild 6.2). Hinzu kommen einige kleinere Unternehmen mit eher regionaler Bedeutung.

Von der rasanten Entwicklung der Personal-Computer für den Büro- und Heim-anwendermarkt profitierte auch die Steuerungstechnik. Mit kommerziell verfügbarer PC-basierter Hardware und Software konnten Steuerungshersteller ihre Kosten für die Steuerung erheblich senken. Der Prognose in Bild 6.2 ist zu entnehmen, dass die Bedeutung der Software im Vergleich zur Hardware in Zukunft weiter steigen wird. Über die Rolle des reinen Systemanbieters hinaus nutzen Steuerungshersteller vermehrt ihr vorhandenes Know-how, um individuelle Dienstleistungen anzubieten.

Hardware- und Softwarestandards, standardisierte Schnittstellen und offene Steuerungssysteme, die flexibel erweiterbar sind, werden von Anwendern immer stärker gefragt. Insbesondere die Integrationsfähigkeit einer Steuerung in Netzwerke und übergeordnete Systeme hat bis heute enorme Bedeutung erlangt.

## 6.2 Aufbau und Funktionsbeschreibung numerischer Steuerungen

### 6.2.1 Allgemeine Funktionsbeschreibung

Die wesentliche Aufgabe der NC ist die Steuerung der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, wobei die Weg- und Geschwindigkeitsanweisungen in einem NC-Programm (Teileprogramm) festgelegt sind, das die Steuerinformationen in Form alphanumerischer Zeichen enthält [63].

Die Erstellung eines NC-Programms kann je nach Organisationsform auf zwei unterschiedliche Arten stattfinden. Im ersten Fall werden die NC-Programme in der Arbeitsvorbereitung mit Hilfe maschineller NC-Programmiersysteme erstellt und in die Steuerung übertragen (vgl. Kapitel 6.4.2). Bei dieser Lösung gibt man die Daten des NC-Programms über Diskette (früher Lochstreifen), USB-Stick oder Netzwerkanbindung (Distributed Numerical Control, vgl. Kapitel 9.2.1) in die Steuerung ein. Zusätzlich können bereits eingelesene Programme über das Bedienfeld nachträglich verändert bzw. korrigiert werden.

Der zweite, flexiblere Weg zur Eingabe einfacher Bearbeitungsaufgaben ist die Programmerstellung bzw. -überarbeitung durch den Maschinenbenutzer an der Steuerung selbst. Hier bieten moderne, grafisch unterstützte Verfahren wie WOP (Werkstattorientierte Programmierung, vgl. Kapitel 6.4.2.4) nicht nur in der Arbeitsvorbereitung die Möglichkeit zur komfortablen Programmeingabe, sondern auch vor Ort an der Maschine.

Die eingegebenen Informationen des NC-Programms und die zu verarbeitenden Korrekturen werden in der Steuerung decodiert und nach *geometrischen* und *technologischen Daten* sowie *Schaltfunktionen* getrennt weiterverarbeitet (Bild 6.3). Geometrische Daten sind alle Angaben über die zu verarbeitenden Werkzeug- und Werkstückwege, aus denen schließlich die gewünschte Geometrie des Werkstücks entsteht. Technologische Informationen sind z.B. Funktionen zur Werkzeugauswahl sowie zur Auswahl der Spindeldrehzahl oder der Schnittgeschwindigkeit.

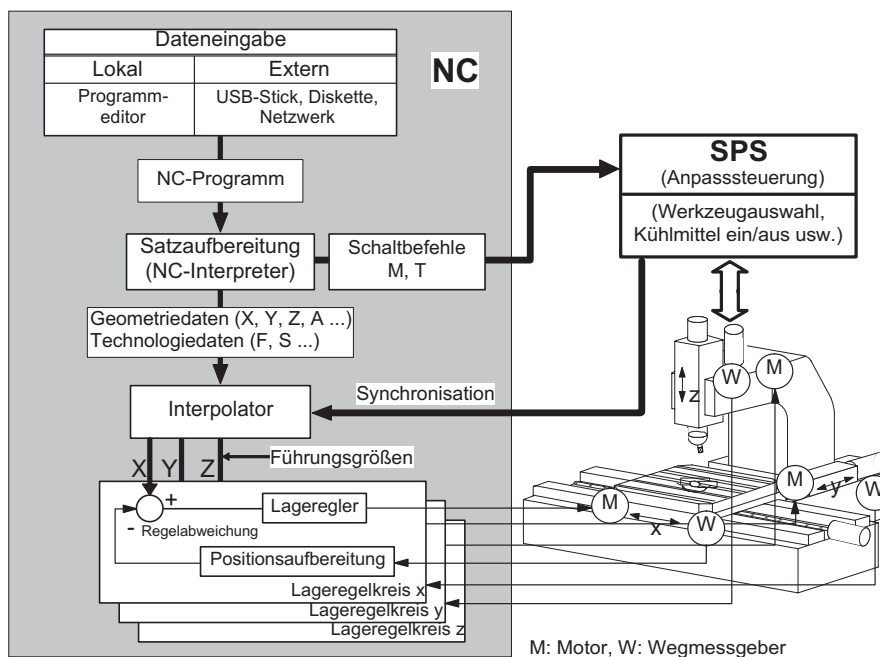


Bild 6.3. Struktur einer numerischen Steuerung

Die Schaltfunktionen gelangen als Schaltbefehle in die sogenannte Anpasssteuerung der Werkzeugmaschine, in der sie mit den von der Werkzeugmaschine kommenden Rückmeldungen verknüpft und in Steuerbefehle für die zu schaltenden Aggregate umgesetzt werden. Der größte Teil der Anpasssteuerung wird heutzutage von einer SPS realisiert (speicherprogrammierbare Steuerung, vgl. Kapitel 5.3). Die Verknüpfungen bestehen zum großen Teil aus Verriegelungs- bzw. Sicherheits-schaltungen, damit widersprüchliche und den Maschinenbenutzer sowie die Maschine gefährdende Aktionen (z.B. „Vorschub ein“ bevor „Spindel ein“ usw.) nicht ausgelöst werden. Komplexe Funktionen und Aufgaben wie z.B. der automatische Werkzeug- und Werkstückwechsel werden von der Anpasssteuerung erledigt. Mit Hilfe der Anpasssteuerung können maschinenunabhängige Funktionen der NC-Steuerung auf maschinenspezifische Geräte abgebildet (angepasst) werden.

Ein Interpolator berechnet für einen vorgegebenen Wegabschnitt die zu koordinierende Bewegungsfolge in den Achsen nach Richtung und Geschwindigkeit und erzeugt somit die Führungsgrößen für die Antriebe der Achsen [193]. Durch Überlagerung der einzelnen Achsbewegungen entsteht dann eine Werkzeugbewegung entlang der programmierten Werkstückkontur (vgl. Kapitel 7.1).

Die Programmierung der zu erzeugenden Kontur geschieht durch die Angabe von Konturendpunktkoordinaten und der Art der Verbindung zwischen dem jeweiligen Anfangs- und Endpunkt als Wegbedingung (z.B. Gerade, Kreisbogen).

Insbesondere in der Zeit vor der Einführung des Computers in der NC-Steuerung unterschied man je nach Verlauf der Bewegung in Steuerungen unterschiedlicher Komplexität. Man differenzierte diesbezüglich zwischen Punkt-, Strecken- und Bahnsteuerungen [63, 125]. Punkt- und Streckensteuerungen sind als eigenständige Steuerungen heute nicht mehr im Einsatz. Sie werden jedoch teilweise als Module innerhalb von SPS-Steuerungen verwendet. Der Vollständigkeit halber sind auch diese beiden Steuerungstypen beschrieben.

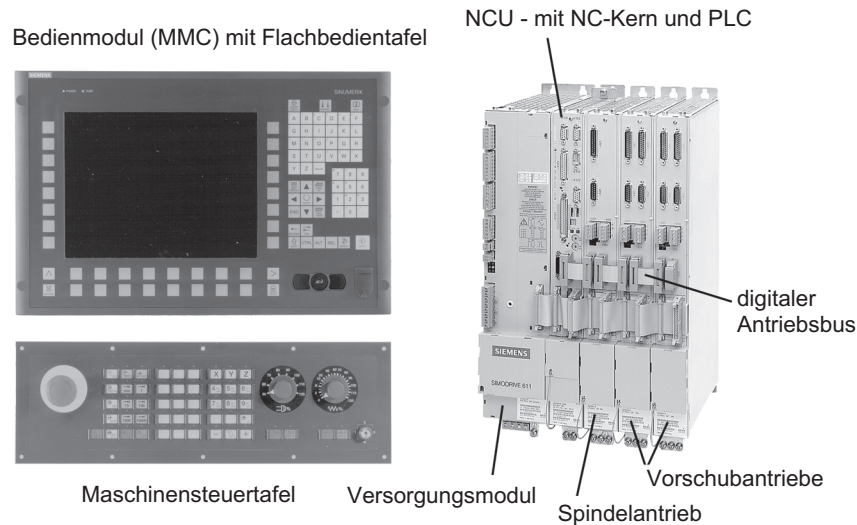
*Punktsteuerungen* wurden für einfache Positioniervorgänge eingesetzt, wie z.B. bei der Bohrbearbeitung oder beim Punktschweißen. Bei Punktsteuerungen darf das Werkzeug während des Positioniervorgangs nicht im Eingriff sein, da der programmierte Endpunkt der Werkzeugbewegung auf einem nicht definierten Weg angefahren wird.

Bei *Streckensteuerungen* wird der Endpunkt einer Bearbeitungsstrecke auf einem geraden Weg angefahren, wobei das Werkzeug beim Verfahren im Eingriff sein kann. Mit einfachen Streckensteuerungen kann nur auf achsparallelen, mit erweiterten Streckensteuerungen auf beliebigen Geraden verfahren werden. Streckensteuerungen eignen sich z.B. für einfache Dreh- und Fräsbearbeitungen oder zur Steuerung von Transferstraßen.

Werkzeug- und Tischbewegungen zur Erzeugung beliebiger Konturen sind nur mit *Bahnsteuerungen* möglich. Heutige NC-Steuerungen sind fast ausschließlich Bahnsteuerungen. Sie unterscheiden sich in der Zahl der zu steuernden Achsen und der Komplexität der Bahnerzeugung (Kreis, Splines usw.). In der Regel vermögen die meisten Bahnsteuerungen nur Geraden und Kreisbögen auszuführen. Jede moderne NC-Steuerung ist heute mit einem Bahninterpolator ausgerüstet und somit eine Bahnsteuerung. Die Bewegungen in den einzelnen Achsen stehen in einer strengen funktionalen Abhängigkeit zueinander. Bahnsteuerungen werden im Werkzeugmaschinenbau u.a. für Dreh-, Fräs- und Schleifmaschinen, Laserstrahl- und Brennschneidanlagen, Nibbelmaschinen, Senk- und Drahterosionsmaschinen, Wasserstrahlschneidanlagen, Stereolithografiemaschinen eingesetzt.

Bevor die Achssollwerte von der Steuerung an die Antriebe ausgegeben werden, müssen sie an die aktuelle Werkstück- und Werkzeugposition angepasst werden. So erfolgt beispielsweise die NC-Programmierung unabhängig von der aktuellen Spannposition des Rohteils auf dem Tisch einer Fräsmaschine. Die aktuelle Lage des Werkstücknullpunktes zum Maschinennullpunkt muss daher zusätzlich eingegeben und über eine Koordinatentransformation von der Steuerung berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 7.2).

Ähnliche Korrekturberechnungen sind zur Berücksichtigung der Werkzeugabmessungen erforderlich. Programmiert wird die gewünschte Werkstückkontur losgelöst von der aktuellen Werkzeuggeometrie, d.h. unabhängig von Radius- und Längen-Offset. Die aktuellen Werkzeuggeometriedaten werden erst vor der Bearbeitung in die Steuerung eingegeben. Die Steuerung berechnet dann die Werkzeugmittelpunktbahn und gibt diese im Interpolationstakt an die Achsregler aus.



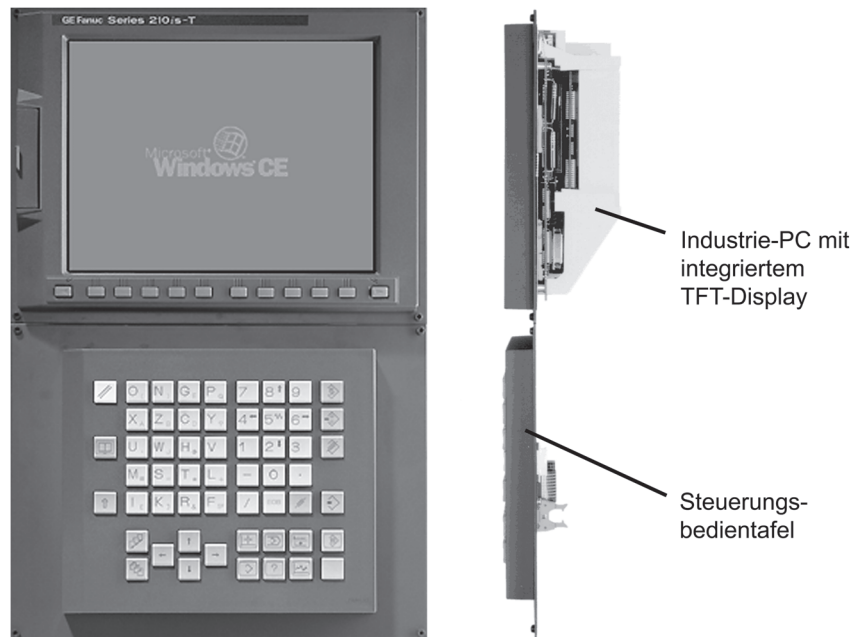
**Bild 6.4.** Komponenten einer numerischen Steuerung (nach Siemens)

### 6.2.2 Hardware und Schnittstellen einer NC-Steuerung

Steigende Anforderungen an numerische Steuerungen hinsichtlich Automatisierung und Präzision des Prozesses führten anfangs zu einer Aufteilung der Steuerungsaufgaben auf verschiedene Steuerungen bzw. Baugruppen, da zunächst die Leistungsfähigkeit einzelner Prozessoren nicht ausreichte. Die Entwicklung auf dem Mikroprozessorsektor unterstützte diese Vorgehensweise, indem vermehrt Prozessoren mit Spezialeigenschaften (z.B. numerische Co-Prozessoren oder Mehrprozessorsysteme) auf den Markt kamen [215].

Diese Situation hat sich jedoch, bedingt durch die rasante Entwicklung der Halbleitertechnik, insbesondere im Bereich der Personalcomputer, grundlegend gewandelt. Standardkomponenten aus der PC-Welt sind heute leistungsfähig und wegen der hohen Stückzahlen kostengünstig. Seit Mitte der 90er Jahre werden sie verstärkt auch in numerischen Steuerungen eingesetzt.

Die Hardware wird aufgrund der speziellen Anforderungen in der Steuerungstechnik in der Regel vom Steuerungshersteller selbst entwickelt und produziert. Aber auch hierbei kommen Standardprozessoren und -bauelemente zum Einsatz. Für spezielle Aufgaben, insbesondere Schnittstellen zu externer Hardware (SERCOS, PROFIBUS etc.) werden sogenannte ASICs (Application Specific Integrated Circuit, anwendungsspezifisch entwickelte integrierte Schaltungen) eingesetzt, die bereits bei mittleren Stückzahlen wirtschaftlich sind.



**Bild 6.5.** Kompakte PC-basierte Steuerung (nach Fanuc)

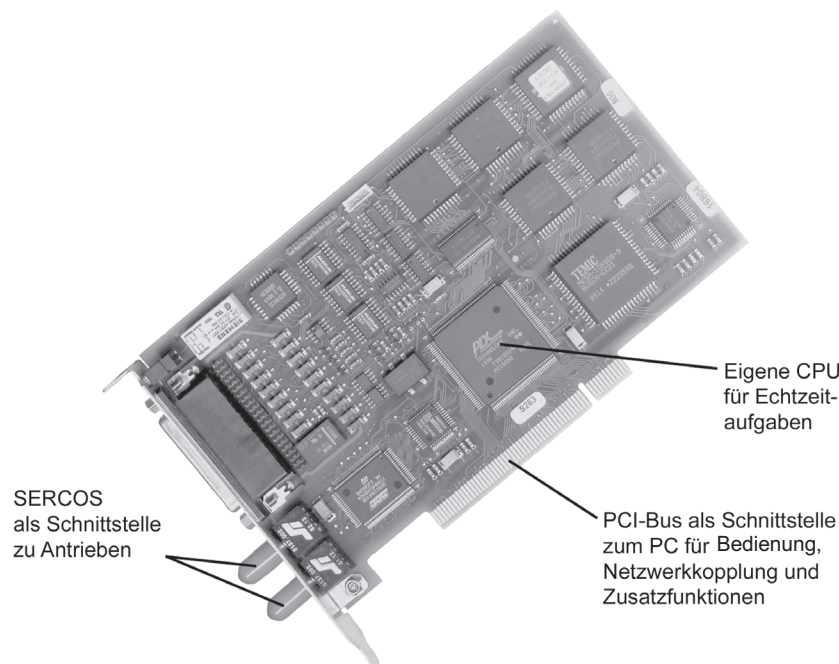
#### 6.2.2.1 Komponenten

Bild 6.4 zeigt die Komponenten einer NC-Steuerung der höheren Leistungsklasse [208]. Die Steuerung verwaltet maximal 31 Vorschubachsen bzw. Spindeln, die auf bis zu 10 parallele Kanäle verteilt werden können. Zu den Hardwarekomponenten gehören:

- ein Bedieninterface oder MMC-Modul (Man Machine Control) mit integriertem Industrie-PC und einer Bedientafel mit TFT-Farbdisplay und NC-Volltastatur als zentrale Anzeige- und Eingabeeinheit;
- die Maschinensteuertafel zur Bedienung der Maschine von Hand, zur Vorgabe der Bewegungsart und der Override-Werte sowie zur Definition individueller Tastaturbelegungen durch den Maschinenhersteller (z.B. Ausführung eines bestimmten NC-Satzes bei Tastenbetätigung);
- eine NCU-Baugruppe (Numerical Control Unit) mit integrierter NC und SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung, vgl. Kapitel 5.3). Die Mehrprozessor-Baugruppe NCU wird direkt in das digitale Umrichtersystem integriert und mit den Antriebsmodulen verbunden. Ein-/Ausgangsbaugruppen zur Maschinensteuerung können über Profibus direkt an die NCU angeschlossen werden.

Alle Komponenten werden über ein serielles Bussystem miteinander vernetzt, an das auch weitere Steuerungskomponenten angeschlossen werden können. Heute wird speziell im oberen Leistungsbereich noch vielfach verteilte Hardware mit





**Bild 6.6.** Numerische Steuerung als Einsteckkarte für einen PC (nach Bosch)

je einem Prozessor für Bedienung, NC- und PLC-Funktionalität eingesetzt. Dafür sprechen zum einen die klare Trennung zwischen Echtzeit- und Bedienbereich aus Gründen der Sicherheit und Zuverlässigkeit, zum anderen auch historische Gründe wegen bisher nicht ausreichender Leistungsfähigkeit einzelner Prozessoren. Letzteres ist jedoch bei modernen Prozessoren, die jenseits von 2 GHz getaktet werden, keine Frage mehr. So geht der Trend denn auch bei Neuentwicklungen insbesondere in der unteren Leistungsklasse eindeutig in Richtung der Integration aller Funktionen auf einer Hardware.

Bild 6.5 zeigt eine kompakte Steuerungshardware als Einprozessorlösung [97], die direkt an die Antriebsverstärker, Maschinenperipherie und ein Ethernet-Netzwerk angeschlossen werden kann. Die Trennung der einzelnen Bereiche Bedienung, NC und PLC findet hier nur noch auf Softwareebene statt. Voraussetzung hierfür ist ein leistungsfähiges Echtzeitbetriebssystem mit prioritätengesteuertem Multitasking (vgl. Kapitel 4.3.1.2). In diesem Produkt wird erstmals das Betriebssystem Windows CE für alle Steuerungsaufgaben eingesetzt.

Bild 6.6 zeigt eine weitere Variante, bei der die Steuerungshardware auf eine Einsteckkarte reduziert ist, die in jedem handelsüblichen Personalcomputer verwendet werden kann [191]. Hier wird zwar ein separater Prozessor auf der Karte verwendet, auf dem mit einem Standard-Echtzeitbetriebssystem die Funktionen der NC und SPS realisiert sind. Jedoch entfallen hier für den Steuerungshersteller die zusätzlichen Aufwände für die Entwicklung der umgebenden Hardware und Pe-

ripherie. Stattdessen bedient er oder sein Kunde sich mit den auf dem Markt angebotenen PC-Standardkomponenten und profitiert direkt von den dort geleisteten Innovationen.

#### 6.2.2.2 Interner Aufbau

Wie bereits erwähnt, besteht die Hardware einer numerischen Steuerung je nach Ausführung aus unterschiedlichen Baugruppen. Historisch bedingt lieferte die Wahl spezieller Hardware die Grundlage für die Leistungsfähigkeit einer Steuerung. In vielen Steuerungen findet man eine klassische Aufteilung in drei Hardwarekomponenten:

- *Bedienbereich-Hardware:*  
für alle Bedien- und Anzeigefunktionen; nicht echtzeitfähig, in der Regel PC-basierte Hardware mit Windows-Betriebssystemen;
- *NC-Kern-Hardware:*  
zur Ausführung geometrischer Berechnungen und der Bahnsteuerung nach den Vorgaben des NC-Programms; bedingt echtzeitfähig, in der Regel spezielle Hardware mit Echtzeitbetriebssystem;
- *SPS-Hardware:*  
zur maschinenseitigen Anpassung der Steuerung (Anpasssteuerung); echtzeitfähig, in der Regel spezielle Hardware mit einer Firmware zur zyklischen Ablaufsteuerung.

Die SPS war im Gegensatz zu den beiden anderen Hardwarebereichen von Anfang an für Maschinenhersteller frei programmierbar. Aus der Historie heraus haben sich diese darauf spezialisiert, ihre eigene Software in die SPS zu integrieren. In der Folge wurden mangels Alternative teilweise komplexe Verwaltungsaufgaben wie Werkzeugverwaltung, Palettenmanagement oder Auftragsabwicklung in die SPS integriert, eine Steuerung, die ursprünglich für logische Verknüpfungen und Abläufe entwickelt wurde. Erst mit dem Aufkommen offener Steuerungssysteme besteht eine Alternative, diese Fehlentwicklung bereinigen zu können (vgl. Kapitel 6.2.6). Komplexe Verwaltungsaufgaben können im Bedienbereich realisiert werden. Dies entlastet den SPS-Bereich zugunsten seiner ursprünglichen Echtzeitaufgaben im Bereich der Maschinensteuerung und bringt einen erheblichen Performancegewinn.

Mit zunehmender Verbreitung und immer kürzeren Innovationszyklen der Halbleitertechnik stellt die Hardware nicht mehr den entscheidenden Kostenfaktor dar. Innerhalb kürzester Zeit verdoppeln kommerziell verfügbare Prozessoren ihre Leistungsfähigkeit. Andererseits wird die Leistungsfähigkeit und damit auch der Umfang der Software immer größer. Hiermit steigt der Bedarf, aufwändig entwickelte Software wiederverwenden und unabhängig von der Hardware einsetzen zu können.

Eine logische und softwareorientierte Gliederung der Steuerungsaufgaben nach Funktionsbereichen erscheint heute daher sinnvoller als die klassische Aufteilung in hardwareorientierte Strukturen. Eine solche Gliederung nach Funktionsbereichen bezeichnet man als Referenzarchitektur [10]. Moderne Steuerungen sind nach diesen Architekturansätzen modular aufgebaut und besitzen definierte Schnittstellen

zwischen einzelnen Modulen. Einzelne Softwaremodule können so in Steuerungen unterschiedlicher Leistungsklassen eingesetzt und wiederverwendet werden. In der Frage, welche Funktionalität (Software) auf welcher Hardware realisiert wird, haben Steuerungshersteller und Anwender mehr Freiheiten. Im Folgenden werden die wesentlichen Funktionsbereiche einer numerischen Steuerung erläutert.

#### *Funktionsbereich HMI*

Der Funktionsbereich HMI (engl. Human Machine Interface, Benutzerschnittstelle) umfasst sämtliche Funktionen zur Bedienung und Datenhaltung der Steuerung. Hierzu gehört die Visualisierung der Prozess- und Stammdaten, die Programmierung von NC-Werkstückprogrammen mittels eines Texteditors oder WOP-Systems sowie die Verwaltung der unterschiedlichen Betriebsdaten. Abhängig vom Hersteller der Steuerung, wird dieser Funktionsbereich auch HMC (engl. Human Machine Control), MMC (engl. Man Machine Control) oder MMI (engl. Man Machine Interface) genannt.

#### *Funktionsbereich MC*

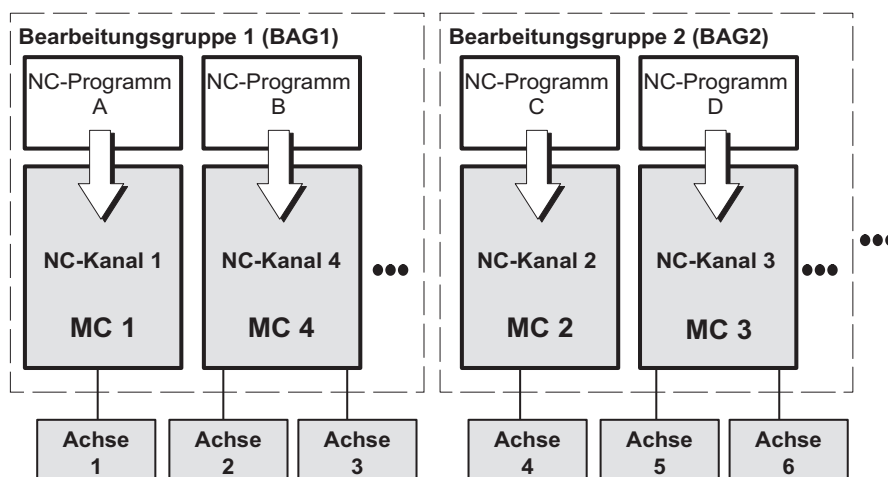
Der Funktionsbereich MC (engl. Motion Control, Bewegungssteuerung oder NC-Kern) beinhaltet die NC-Datenaufbereitung und Interpolation der Lagesollwerte für jeden sogenannten NC-Kanal. Durch die mehrkanalige Auslegung können unterschiedliche Achsverbände voneinander unabhängige Bewegungen ausführen. Jeder Kanal repräsentiert dabei ein eigenständiges System mit mehreren Achsen und eigenem NC-Programm sowie eigener Satzaufbereitung und Interpolation. Die Programme der einzelnen Kanäle können parallel bearbeitet, aber auch miteinander synchronisiert werden. Die Mehrkanaltechnik wird im Allgemeinen jedoch hauptsächlich bei größeren Bearbeitungszentren mit mehreren Hauptspindeln sowie bei der Parallelbearbeitung mit Haupt- und Gegenspindel verwendet (z.B. bei der Holzbearbeitung). Bild 6.7 zeigt schematisch die Struktur einer Steuerung mit vier Kanälen zur Verwaltung von 6 Achsen. In diesem Beispiel sind je zwei Kanäle zu je einer Bearbeitungsgruppe zusammengefasst. Kanäle innerhalb einer Bearbeitungsgruppe werden in der Regel gleichzeitig gestartet und sind immer in der gleichen Betriebsart.

#### *Funktionsbereiche AC und SC*

Die Funktionsbereiche AC (engl. Axes Control, Achsansteuerung) und SC (engl. Spindle Control, Spindelansteuerung) verwalten eine oder mehrere Gruppen von Achsen oder Spindeln. Aus Sicht der Softwarearchitektur beinhalten sie die komplette Regelungstechnik, auch wenn diese auf separater Hardware im Antriebsverstärker untergebracht ist.

#### *Funktionsbereich LC*

Der Aufgabenbereich LC (engl. Logic Control, Anpassteuerung) bildet die Schnittstelle zwischen der Steuerung und der Maschine. Die Anpassteuerung übernimmt



**Bild 6.7.** Mehrkanalstruktur im NC-Kern (nach Siemens)

die Ausführung der maschinenspezifischen Funktionsabläufe und logischen Verknüpfungen, wie z.B. Schaltung des Werkzeugwechsels, Überwachung von Schutztüren oder die Steuerung der Kühlmittelzufuhr. Zusätzlich findet über diese Schnittstelle eine Synchronisation zwischen MC und LC statt. Im Rahmen der Satzaufbereitung werden Schaltbefehle im NC-Programm über sogenannte T- und M-Befehle der Anpasssteuerung zur Ausführung übertragen. Des Weiteren werden hier auch Eingaben der Maschinensteuertafel verarbeitet.

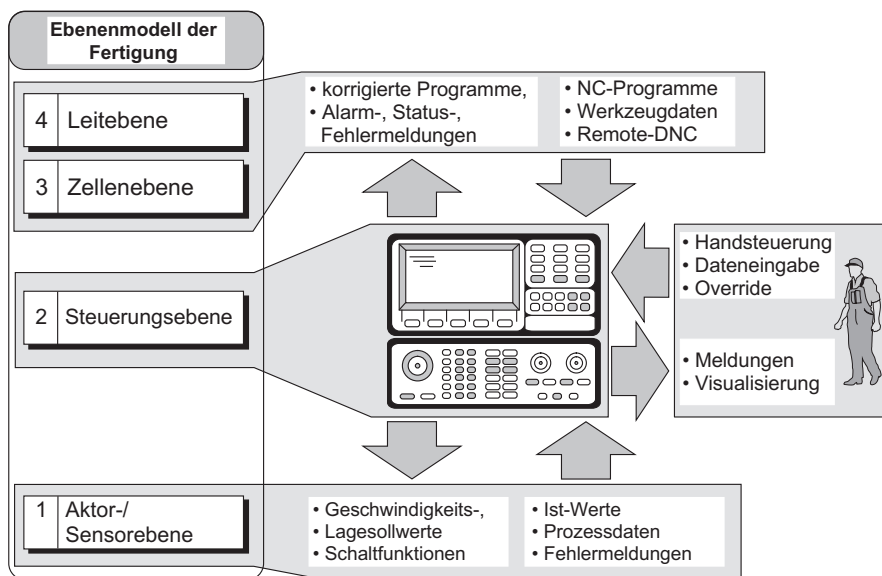
#### *Weitere Funktionsbereiche*

Zusatzfunktionen wie Organisations- und Planungsaufgaben einer numerischen Steuerung können weiteren Funktionsbereichen zugeordnet werden (vgl. Kapitel 6.2.5.2):

- *Werkzeugverwaltung:*  
zur Speicherung und Verwaltung aller Werkzeugdaten (Werkzeugnummer, Geometrien, Verschleißdaten etc.);
- *Auftragsverwaltung:*  
zur Verwaltung von Fertigungsaufträgen und zur Verwaltung des Materialflusses von Werkstück und Werkzeug;
- *Transportgerätesteuerung:*  
zur Ausführung von Werkzeugtransport und Werkzeugwechsel sowie Paletten-transport und Palettenwechsel innerhalb einer Werkzeugmaschine.

#### **6.2.2.3 Externe Schnittstellen**

Zur Integration einer numerischen Steuerung in das produktionstechnische Umfeld stehen eine Reihe unterschiedlicher, kommunikationstechnischer Schnittstellen zur



**Bild 6.8.** Funktionale Schnittstellen einer numerischen Steuerung im Ebenenmodell der Fertigung

Verfügung. Grundsätzlich kann zwischen Schnittstellen zu über- und untergeordneten Systemen sowie zum Maschinenbenutzer unterschieden werden.

Durch die zunehmende Verbreitung von Netzwerktechnologien in der Produktion wird künftig kaum eine NC-Steuerung in einem für sich abgeschlossenen System betrieben werden. Der Bedarf an Schnittstellen zu unterschiedlichen Bereichen wächst durch die Verfügbarkeit entsprechender Standards aus der Büro- und Internetwelt enorm. Die Schnittstellen umfassen sowohl echtzeitfähige Verbindungen zu Feldgeräten wie Sensoren und Aktoren (vgl. Kapitel 5.3.5) oder anderen Steuerungen als auch weniger echtzeitfähige Schnittstellen zum Unternehmensnetzwerk (Diagnose, Auftrags- und Betriebsmittelplanung, vgl. Kapitel 9.2).

Im Bild 6.8 sind die funktionalen Schnittstellen einer numerischen Steuerung in Relation zum Ebenenmodell der Fertigung dargestellt (vgl. Kapitel 9.2).

Übergeordnete Systeme sind Rechner auf der Zellen- bzw. Leitebene, deren Aufgabe zum einen die Versorgung der Steuerung mit NC-Programmen, Werkzeugdaten und zum anderen – falls erforderlich – eine Fernsteuerung (Programm-Start/Stop) ist. Bei dieser Betriebsart spricht man von DNC (Distributed Numerical Control), die bei automatisierten Fertigungssystemen wie Flexiblen Fertigungssystemen (FFS) und Flexiblen Fertigungszellen (FFZ) eingesetzt wird (vgl. Kapitel 9.3).

Auf der Steuerungsebene befindet sich die Schnittstelle zum Maschinenbenutzer in Form von Grafikbildschirm, Tastatur, Handrädern, Drehschaltern usw., die einen manuellen, direkten Betrieb der Steuerung und Maschine ermöglicht. Die untergelagerte Aktor-/Sensorebene wird von der NC in Form von Lage-, Geschwindigkeits-

**Leitrechnerebene**

Die Kommunikation mit einem Leitrechnersystem realisieren Industrie-PCs einfach und kostengünstig. Hierbei wird auf die am Markt erhältlichen Hard- & Softwaremodule aufgebaut. (Ethernet, OPC und Windows CO/DCOM)

**HMI-Ebene**

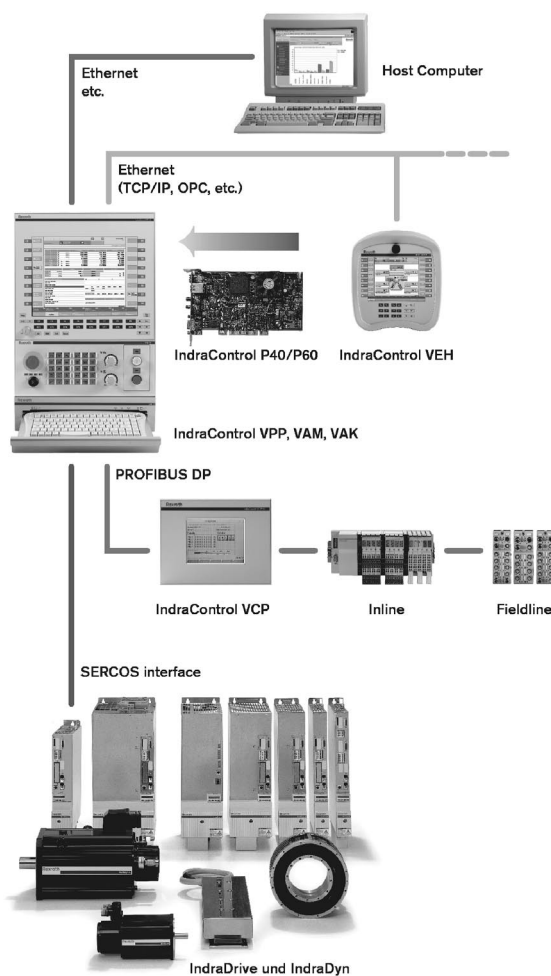
PC-basierte Bediengeräte mit Betriebssystemen wie Windows XP oder Windows CE.NET vereinfachen den Datenaustausch über Netzwerke.

**E/A-Ebene**

In der Kommunikation mit der Sensor-/Aktor-Ebene werden Standards wie PROFIBUS-DP, DeviceNet, INTERBUS oder ASI verwendet.

**Antriebsebene**

Mit der international genormten Schnittstelle SERCOS interface werden in der Produktion höchste Dynamik und Präzision erreicht. IndraMotion MTX und IndraDrive nutzen die Vorteile der neuesten SERCOS interface Generation mit Datenraten bis zu 16 MBaud.



**Bild 6.9.** Peripherieeinheiten und physikalische Schnittstellen einer numerischen Steuerung (nach Bosch)

oder Stromsollwerten für die Antriebe (Verstärker) sowie Schaltfunktionen gesteuert. Daten von der Maschine wie z.B. Ist-Werte (Messgeber), Prozessdaten (z.B. Temperaturveränderungen) und etwaige Fehlermeldungen fließen in die NC zurück.

Nachdem die funktionalen Schnittstellen einer NC beschrieben worden sind, sollen im Folgenden die physikalischen Schnittstellen erläutert werden. Im Bild 6.9 sind typische Peripheriegeräte und physikalische Schnittstellen einer NC abgebildet [117]. Für die Verbindung zu übergeordneten Zellen- bzw. Leitrechnern haben sich heute Ethernet und TCP/IP als Standard durchgesetzt. Bei älteren Steuerun-

gen wurden häufig serielle Schnittstellen (RS-232, RS-422) als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen verwendet. Auch bei der Vernetzung numerischer Steuerungen untereinander wird heute vorwiegend Ethernet eingesetzt. Liegen spezielle Sicherheits- oder Echtzeitanforderungen vor, kommen Feldbussysteme wie INTERBUS oder PROFIBUS-DP zum Einsatz.

Feldbussysteme werden auch für digitale Ein- und Ausgänge genutzt, um die Verbindung zu Aktoren und Sensoren herzustellen (vgl. Kapitel 5.3.5). Auch Handräder und weitere Bediengeräte werden über diesen Bus angeschlossen.

Die Antriebe zur Bewegung der Achsen und Spindeln der Maschine werden in der Regel über digitale Schnittstellen wie z.B. SERCOS verbunden, bei Low-Cost-Steuerungen wird nach wie vor die früher übliche analoge 10V-Schnittstelle verwendet (vgl. Band 3, Kapitel 2.4.3).

### 6.2.3 Software einer NC-Steuerung

Die wesentliche Aufgabe einer NC-Steuerung ist die Interpretation der Eingangsinformationen in Form alphanumerischer Zeichen (NC-Programm) und Aufbereitung der entsprechenden Weg- bzw. Schaltinformationen für jede Achse bzw. jedes Stellglied der Werkzeugmaschine. Der Einsatz der frei programmierbaren Mikroprozessortechnik seit Anfang der 70er Jahre ermöglichte die Umsetzung der einzelnen Funktionen einer NC-Steuerung durch herstellerspezifische NC-Funktionsprogramme (z.B. Interpreter, Interpolator), die anfangs sehr aufwändig in Assembler programmiert wurden und heutzutage komfortabel in einer Hochsprache wie beispielsweise C oder C++ entwickelt werden.

Durch die steigende Leistungsfähigkeit der NC-Hardware wurden Möglichkeiten geschaffen, die eine effektivere Entwicklung der NC-Software erlauben. Dies ist nicht zuletzt durch die Integration von Standard-PC-Karten in moderne Steuerungen erreicht worden. Dadurch hat sich automatisch der preiswerte und umfangreiche Softwaremarkt der PC-Welt eröffnet. Neben der Softwareerstellung auf der Steuerung findet jedoch in der Regel die Entwicklung auf sogenannten Hostrechnern statt. Hier bieten Workstations oder leistungsfähige PCs mit hoher Prozessorleistung und Speicherausstattung wesentlich komfortablere Möglichkeiten in der Entwicklungs- und Testphase. Nach Fertigstellung der Funktionsprogramme können diese dann auf die Hardware der NC-Steuerung (Ziel-System) übertragen werden. Diese Methode der Programmierung wird im Allgemeinen als Cross-Entwicklung bezeichnet.

Im Folgenden soll die *Software-Struktur* einer numerischen Steuerung beschrieben werden (Bild 6.10). Den Hauptanteil der Software stellen die NC-Funktionsmodule dar, welche im Wesentlichen die Funktionalität der Steuerung verkörpern. Funktionsmodule sind hier z.B. die NC-Kern-Programme, wie Interpreter oder Interpolator, aber auch Zusatzfunktionen wie Fehlerüberwachungsfunktionen, ein NC-Programmeditor, ein Simulationssystem oder ein Werkzeugverwaltungssystem.

Zentrale Schnittstelle zwischen Hardware und Funktionsmodulen ist das *Betriebssystem* der Steuerung, welches neben der Speicherverwaltung und der Ein- und Ausgabeverwaltung zusätzlich die Synchronisation der einzelnen Prozesse übernimmt [136]. Das Betriebssystem lässt sich in einen hardwareabhängigen und einen

Werkzeugmaschinen 4

Automatisierung von Maschinen und Anlagen

Weck, M.

2006, XX, 502 S. 330 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-540-22507-2