

Zusammenfassung Rechnergestützte Fertigungssysteme I

Cand.-Inform. Michael Aschke

29. Oktober 2000

Kapitel 1

Das Fertigungssystem

(Grundfunktionen und Abläufe in einem Fertigungsbetrieb.)

- Planungs- und Steuerungsaktivitäten innerhalb eines Fertigungssystems:
 - Entwicklung & Konstruktion
 - Arbeitsplanung
 - Termin- und Ablaufplanung
 - Auftragsfreigabe
 - Steuerung
 - Verifizierung
- Die wichtigsten übergeordneten Systemaktivitäten sind Entwicklung und Konstruktion, Planung, terminierung sowie Steuerung und Kontrolle.
- Informations- und Materialfluss durch einen Funktionsblock: siehe Abbildung 1.3
- Der Arbeitsplan enthält die Beschreibung der Bearbeitungsoperationen und deren Reihenfolge.
- Rückmeldeinformationen über Auslastung der Betriebsmittel (Maschinen, Lager) und Produktqualität fließen an alle Funktionsblöcke zurück.

1.0.1 Organisatorische Komponenten eines Fertigungssystems

- Bild 1.4
- Reihenfolge der Funktionsblöcke wichtig bei: Auftragsplanung, Auftragsfreigabe und Auftragssteuerung. Eine zentrale Rolle spielt die Datenbank.
- Die Entwicklung und Konstruktion eines Produktes setzt die detaillierte Kenntnis des Fertigungsprozesses voraus.
- Logistik: Daten- und Materialfluss muss möglichst optimiert und reibungslos ablaufen.
- CIM besteht aus zwei großen Bereichen, welche miteinander kommunizieren:
 - CAD/CAM (Computer Aided Design and Manufacturing), bestehend aus: (CAD, CAPP (CA Process Planning), CAM und orthogonal dazu CAQ (CA Quality Control))

- PPS (Produktplanung und -steuerung bestehend aus: Produktions-/Programmplanung, Mengenplanung, Losgrößenplanung und Durchlaufterminierung, Auftragsfreigabe und Auftragüberwachung)

1.0.2 Begriffsbestimmungen im Bereich der rechnergestützten Fertigung

- CAP: Der Arbeitsplan beschreibt die zur Fertigung eines Teils notwendigen Bearbeitungsgänge und Reihenfolgen.
- CAM: Auf Werkstattebene: Steuerung der Betriebsmittel und Produktionsanlagen. Auch: Steuerung des Materialflusses, Verwaltung von Werkzeugen und Spannmitteln sowie die Instandhaltung.
- CAQ: Verknüpfung aller laufenden Tätigkeiten zur Qualitätssteuerung und Qualitätskontrolle.
- PPS: organisatorischer Bereich von CIM. Maßnahmen zur Mengen- und Kapazitätsplanung, Bruttobedarfsplanung, Terminierung.

1.1 Bedeutung der Flexibilität in der Fertigung

1.1.1 Fertigungstypen

- Je höher die Flexibilität, desto geringer die Stückzahl/Stunde.
- Transferstrassen sehr produktiv.
- Flexible Transferstrasse
- FFS (flexibles Fertigungssystem) (im Mittelbereich (siehe Bild 1.6))
- Fertigungszelle (noch flexibler)
- NC-Maschine (am unproduktivsten aber am flexibelsten.)
- Diese fünf Prinzipien verwenden auf dem einen Ende des Spektrums die losweise Produktionsmethode und auf dem anderen Ende die Fließlinienmethode.
- Eine Fertigungszelle kann über mehrere NC-Maschinen bzw. eine Multifunktionsmaschine verfügen.
- FFS besteht aus einer Reihe von NC-Werkzeugmaschinen, die über ein Transportsystem miteinander verbunden sind (Fließlinienprinzip)
- Transferstrasse: älteste Massenproduktionsprinzip. (Fließlinienoperationen)
- Jede Technologie hat ein eindeutiges Kostenminimum.

1.1.2 Die Notwendigkeit eines flexiblen Fertigungssystems

- Das Fließlinienprinzip hat gegenüber dem Werkstattprinzip ökonomische Vorteile.
- Flexibilitäten:
 - auftragsbezogene Flexibilität: ohne Umrüsten wirtschaftlich sein.
 - produktbezogene Flexibilität: Beherrschen der herstellung verschiedener Produktvarianten. Umrüsten und Neuplanen sollen auf ein Minimum reduziert werden.
 - systembezogene Flexibilität: wird benötigt, sofern eine Neukonzeption des Systems zwecks Kapazitätserhöhung erforderlich ist.

1.1.3 Das Automatisierungspotential in der fertigung

- Ein zukunftsorientiertes Konzept sollte den folgenden Anforderungen genügen:
 - verbesserte Synchronisation.
 - kontinuierliche Aktualisierung aller Aufträge
 - Schnelle Zugriffsmöglichkeit auf sämtliche bei der Auftragsbearbeitung anfallenden Daten für alle Abteilungen.
 - Optimierte Durchlaufzeiten und Minimierung der Wartezeit.

1.2 Die Funktionen eines Fertigungssystems

- Marktforschung (für Entwicklungsvorhersage für die nächsten 10-20 Jahre)
- Langfristige Vorhersagen
- Investitionsgüter- und Anlagenplanung (Hard- und Software)
- Kundenauftragsverwaltung
- Entwicklung und Konstruktion (Schlüsselposition. Dieser Bereich legt Funktion und Gestaltung eines Produktes fest und hat entscheidenden Einfluß auf den auszuwählenden Fertigungsprozess; Vorbereiten der Prozessbegleitkarte, Erstellen von NC-Programmen)
- Arbeitsplanung
- Marketing (Preis- und Rabattpolitik, sowie Produktspezifikation und Produktqualität)
- Auftragsterminplanung und Fertigungssteuerung. (Verzweigtes Rechnernetz, um einen reibungslosen Materialfluss durch die Fabrikanlage zu gewährleisten; Bei programmierbarer Automation ist die Fertigungssteuerung verantwortlich für das Zuweisen von NC-Programmen, bearbeitungsparametern für die Werkzeugmaschinen und das Materialverteilungssystem).
- Beschaffung und Warenannahme
- Lagerwirtschaft
- Qualitätssicherung
- Instandhaltung
- Rechnungswesen

1.3 Hierarchisches Planungs- und Steuerungskonzept

- Strategische Planung: höchste Ebene im Strukturmodell. Aufgabe: Langfristige Planung mit dem Ziel der Sicherung der Marktstellung des Unternehmens. Sie umfasst Marktforschung etc.
- Operations- und Ablaufplanung: technische und organisatorische Planungsaktivitäten, Produktentwicklung und Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Marketing...
- Fertigungssteuerung: Lagerwirtschaft, Materialbereitstellung, Teilefertigung, Qualitätskontrolle.
- Maschinensteuerung: Befasst sich mit der direkten Steuerung der Fertigungsmaschinen.

1.3.1 Arten hierarchischer Steuerungsstrukturen

- Führungsebene / Managementebene / Rechnerausstattung
- Unternehmen – Werk – Abteilung – Werkstatt
- Managementhierarchie
- organisatorische Hierarchie (im Fall eines Mehrproduktunternehmens, erfordert eine Vernetzung der Managementstrukturen der verschiedenen Betriebe)
- hierarchisch strukturiertes Steuerungssystem: (im Idealfall stimmt die Managementhierarchie vollkommen mit der Steuerungshierarchie überein).
- Steuerungsstruktur der Datenbasis: Art des Produktes – Baugruppen – Elemente

1.3.2 Aufbau der Steuerungsstruktur eines Fertigungssystems

- Eines der Hauptprobleme ist die Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Ebenen und die Verknüpfung der verschiedenen Hierarchien zu einer funktionalen Einheit.
- Auf der Werksebene muss die Konzeption eines virtuellen Fertigungssystems existieren, um die Verfahren für eine Funktionseinheit konfigurieren zu können.
- Vernetzung auf Werkstattebene: Feldbus; darüber LAN, in der oberen Schicht über WAN.
- In der Werkstattebene müssen die Daten meist in Echtzeit verarbeitet werden.
- In der Maschinensteuerungs- und Maschinenüberwachungsebene sind die Echtzeitanforderungen am höchsten.

1.3.3 Datenaustausch zwischen den Steuerungsebenen

- Echtzeit-Steuerung kann nur dann effektiv gesteuert werden, wenn die Aktivitäten des Systems weitgehend unabhängig von einander ablaufen und der Datenaustausch zwischen diesen auf ein Minimum beschränkt bleibt.
- Synchronisation der Aktivitäten ist von entscheidender Bedeutung
- Bei der Festlegung einer Hierarchiestruktur wird jeder Ebene ein bestimmter Grad an Verantwortlichkeit zugewiesen. Danach wird die Aufgabe jeder Aktivität festgelegt. Dann wird die Zusammenarbeit mit externen Aktivitäten definiert. Zuletzt wird die zentrale Steuerungsstrategie entwickelt.

Aufgabenbeschreibung für einen Funktionsblock

- Betriebsmittel und Datenverarbeitungsaufgaben definiert werden
- Ressourcen müssen vorhanden sein
- Ein- und Ausgangsgrößen müssen bestimmt werden
- Quelle und Ziel müssen bekannt sein
- Reservierung des Funktionsblocks
- Auftragsbestätigung und Quittung
- Material- und Datenpuffer
- Authentizität der Benutzer (anderer Funktionsblöcke)
- Standardfehlerbearbeitungsmechanismus

Interne Kontrollstruktur eines Funktionsblocks

- Hauptkomponenten: Aufgabenplaner, Processor und Datenschnittstelle (siehe Bild 1.34)
- Aufgabenplaner erhält Anweisungen und prüft, ob diese in seinen Aufgabenbereich gehören. Falls ja, wird ein Plan erstellt. Ressourcen werden überprüft, reserviert und (falls erforderlich) Bearbeitungsalternativen untersucht.
- Der Processor startet die Aktivität.
- Kompatibilität der Schnittstelle wichtig.

1.4 Zukünftige Entwicklungen

- Alle modernen CIM-Strategien gehen davon aus, dass der Mensch die Schlüsselposition in einem Unternehmen behält und dass die CIM-Technologie um ihn herum errichtet wird.

1.4.1 Welche CIM-Strategie soll verfolgt werden?

- Entwurf nach Top-down-Methode:
 - Vorteile:
 - * Informationsfluss auf präzise und logische Weise definiert. Aufgaben können hierarchisch gegliedert werden.
 - * kompatible Datenformate, Kommunikationsprotokolle und Schnittstellen
 - * Standardisierung wird vereinfacht
 - * Schnittstellenbildung kann in hierarchischer Weise erfolgen
 - Nachteile:
 - * Oft Module von Fremdanbietern nicht kompatibel
 - * Falls System in Zukunft geändert werden muss (evtl. nach völlig neuer Steuerungsstrategie)
- Bottom-up-Methode:

- Vorteile:
 - * Viele Steuerungsmodule können parallel aufgebaut und individuell betrieben werden.
 - * Module von Fremdanbietern häufig leichter zu implementieren.
 - * Implementierung verursacht weniger Nebenkosten.
- Nachteile:
 - * Schnittstellenbildung äußerst schwierig
 - * verwendete Rechnerausstattung und kommunikationstechnische Ausrüstung sind evtl. nicht kompatibel
 - * Programmierung eines Computersystems kann dort schwierig werden, wo Hierarchieebenen miteinander verbunden sind.
- In der Regel hybride Ansätze:
 - CAM-Strategie: Rechnereinsatz wird durch den Fertigungsingenieur vorbereitet
 - PPS-Strategie: organisatorische Aspekte stehen im Mittelpunkt. Verbesserte Zeitpläne, Verkürzung der Rüst- bzw. Vorlaufzeiten, Verbesserung der Durchlaufterminierung und Reduzierung der Durchlaufzeiten der Werkstücke.
 - CAD/CAM-Strategie: Verschmelzung der Bereiche CAD, CAM und CAQ über die vertikale Verschmelzung. Normalerweise erfolgt der Integrationsprozess über die Konstruktion.
 - CIM-Strategie: baut i.d.R. auf eine der erwähnten Strategien auf. Konsequente, systematische Integration bestehender rechnergestützter Fertigungsabläufe. Es lassen sich zwei mögliche Strategien unterscheiden: Zentrale Datenbasis und bestehende Applikation oder Computernetzwerk und Koordination des Zugriffs auf alle relevanten Daten aus sämtlichen Fertigungsmodulen.
- bei Einführung eines CIM-Systems bedarf es des Wissens aus den Bereichen Marketing, Produktentwicklung und Konstruktion, Fertigung, Computerwissenschaften, Maschinenbau.

Kapitel 2

CIM - Modelle und Konzepte

Werkzeuge zur Planung & Steuerung eines Fertigungsbetriebes

2.1 Existierende CIM-Modelle

- Ein Fertigungsmodell sollte enthalten:
 - Darstellung der Unternehmensaktivitäten
 - Integration der Managementinformationsdatenbank (der zentralen CAD/CAM-Datenbank kommt im CIM-Unternehmen eine integrierende Funktion zu)
 - Darstellung des Material- und Produktflusses
 - Darstellung des Informationsflusses
 - Beschreibung der Schnittstellen und der Kommunikationsprotokolle
 - Darstellung der hierarchischen Planungs- und Steuerungsfunktionen
 - Berücksichtigung des Faktors Zeit.

2.1.1 CIM-Konzept von IBM

- Allgemeines CIM-Konzept COPICS (Communication Oriented Production Information and Control System). Es deckt alle wesentlichen Planungs- und Steuerungsaktivitäten der Fertigung ab.
- Hierzu gehören (i=innen, m=mittlerer Ring, a=äusserer Ring (Bild 2.2)):
 - Verwaltung der Konstruktions- und Produktionsdaten, Kundenauftragsverwaltung, Prognose, Materialdisposition, Fertigungsvorbereitung, Auftragsfreigabe, Maschineninstandhaltung etc.
- Die ursprüngliche Absicht von IBM im Rahmen von COPICS war es, den Verkauf der eigenen Hardware- und Software-Produkte zu steigern.

2.1.2 NIST-AMRF-Hierarchiemodell

- National Institute of Standards and Technology. Hier wurde eine Advanced Manufacturing Research Facility eingerichtet.
- Das Modell unterstützt eine dynamisch gesteuerte Fertigungsumgebung und ist modular aufgebaut (siehe Bild 2.3). Planung und Steuerung geschieht weitgehend in Echtzeit. Es ist besonders für kleine und mittlere Losgrößen geeignet.
- Das Managementinformationssystem koordiniert und steuert den gesamten Fertigungsbetrieb.
- Das Konstruktions- und Arbeitsplanungssystem bereitet die Fertigungsunterlagen vor.
- Ein Auftrag löst die Fertigungs-, die Konstruktions- und die Arbeitsplanungstätigkeiten aus.
- Jede Ebene erhält nur diejenigen Informationen, die zur Erfüllung der ihr zugewiesenen Aufgabe erforderlich sind.
- Die zentrale Datenbank enthält eine vollständige Zustandsbeschreibung der Fabrikanlage zu jedem beliebigen Zeitpunkt.
- Stärke dieses Modells: hierarchische planungs- und Steuerungsstruktur, Transparenz und Aufteilung von Management-, Planungs- und Steuerungsfunktionen.

2.1.3 CIM-Konzept der Siemens AG

- Dieser Darstellung zufolge umfasst CIM die Hauptfunktionen Planung, Vertrieb, Einkauf, PPS, CAD, CAQ und CAM. Über CIM gibt es noch CAO (Computer Aided Organization).
- Aufgabe des Informationsflusses ist die effiziente und zeitlich synchronisierte Verarbeitung und Verteilung der Daten.
- Ein besonderes Merkmal des Siemens-Modells stellt die Einbeziehung der CAO-Aktivitäten dar, die die Buchhaltung, das Personal- und das Finanzwesen umfassen.
- Das Siemens-Modell eignet sich gut dazu, einen Anwender sowohl mit den allgemeinen Aspekten als auch mit kniffligen Fragen vertraut zu machen.

2.1.4 CIM-Konzept der Digital Equipment Corporation (DEC)

- ähnelt dem Siemens-Modell
- Bei diesem Ansatz wird das gesamte Steuerungssystem in funktionale Module unterteilt, die die Geschäftsabläufe und deren Daten abbilden.
- Von besonderem Interesse sind folgende Punkte:
 - Benutzerschnittstelle zu Datenquellen und Datensinken
 - datenverarbeitungsdienst
 - Datenspeicherungs- und Abfragedienst
 - Netzwerkdienst für verteilte Systeme
- Konzeption der Integrationsfunktionen lässt sich wie folgt charakterisieren:

- Integration der Unternehmenstätigkeiten: (sie werden definiert und alle Computerprogramme zur Unterstützung der Funktionen zusammengesetzt. Integrations hauptsächlich durch die Verbindung der internen Prozessfunktionen und durch die Festlegung des Datenaustausches.)
 - Integration der Datenstruktur (alle Daten werden in einer klar definierten Datenbank systematisch geordnet).
 - Integration der Infrastruktur
 - Integration des Informationssystems
- Stärken dieses Modells: unterstützt alle Unternehmensfunktionen, erlaubt einen guten Systemüberblick, modularisiert die Subfunktionen zu wiederverwendbaren Paketen und definiert sehr klar die Schnittstellen zwecks leichter Systemkonfiguration.

2.1.5 ESPRIT-CIM-OSA-Modell

- Das CIM-OSA-Konzept besteht aus einer Entwicklungsumgebung und einer Betriebsumgebung (siehe Bild 2.7)
- Um alle Aspekte eines Unternehmens spezifizieren zu können, werden folgende vier Ansichten definiert:
 - Funktionsansicht (Sprache, mit der sich die statischen und die dynamischen Eigenschaften eines Unternehmens beschreiben lassen; Die Unternehmensfunktion bildet das Fundament der Funktionsansicht; Beschreibung in drei Teile [Funktionalität, Abläufe und Struktur]; Untertypen der Unternehmensfunktion sind Domänenprozesse (Wurzel des Zerlegungsbaumes), Unternehmensprozesse (Mittelbau des Zerlegungsbaumes) und Unternehmenstätigkeiten (Blätter des Zerlegungsbaumes))
 - Informationsansicht (Beschreibt die für jede Funktion benötigten Informationen aus der Sicht des Benutzers)
 - Ressourcenansicht (Definiert alle Ressourcen und deren Beziehungen zur Funktions-, informations- und Organisationsansicht.
 - Organisationsansicht (organisatorische Struktur eines Unternehmens)
- Bild 2.10
- Bild 2.12
- Stärken des CIM-OSA-Konzeptes bestehen in einem allgemeinen CIM-Modell, in der Bibliothek der Hardware- und Softwaremodule und in der Möglichkeit zur Konfigurierung eines anwendungsspezifischen Fertigungssystems mit Hilfe einer integrierten Infrastruktur..

2.2 Amherst-Karlsruhe-CIM-Modell

2.2.1 Verknüpfung von DV-Aktivitäten

- lose Kommunikation, direkte Kommunikation, interaktive Kommunikation, Kommunikation über eine Mailbox, Kommunikation über eine zentrale Datenbank.

2.2.2 Modell des Fertigungssystems

- Das Amherst-Karlsruhe-Modell beschreibt die technischen Fertigungsaktivitäten.
- Bild 2.14 können. (Pyramide mit nebenstehender Datenbank und verschiedenen Kommunikationssystemen (Feldbus, MAP, TOP))x
- MAP-Protokoll: Manufacturing Automation Protocol)
- Hierarchisches Schichtenkonzept eines virtuellen Computers. Dabei ist zwischen physikalischem und logischen Steuerungssystem zu unterscheiden. (Logisch geplant und unter Verknüpfung der physikalischen Steuerungsmodule realisiert).
- Verschiedene Softwarewerkzeuge zum Aufbau eines vollständig integrierten Fertigungssteuerungssystems.

2.2.3 Das Produktmodell

- Es muss sämtliche Informationen liefern, die für die Gestaltung und die Prüfung des Produktes benötigt werden.
- Schichtenkonzept des Produktmodells:
 - Geometrieschicht
 - Planungsschicht
 - Variationsschicht (Ein-/Ausgabeschnittstelle gegenüber dem Benutzer)
 - Verbindungsschicht (Schnittstelle für alle Schichten)
- Wichtigste Normungsaktivitäten:
 - IGES (Initial Graphics Exchange Specification)
 - PDES (Product Data Exchange Specification)
 - STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)

2.2.4 Arbeitsplanungsmodell

- Der Planungsprozess lässt sich in Planung und Programmierung unterscheiden:
- **Planung:**
 - Verknüpfungsmöglichkeiten von CAD und CAP (implizites Programm, Mailbox, direkt über rechnerinterne Darstellung)
 - Für Neuteile: Expertensystem (es kann direkt mit den Daten aus der CAD-Datenbank operieren oder den Arbeitsplan aus aufgabenorientierten Instruktionen ableiten)
 - Bei teilevarianten: Ableitung aus Makro.
- **Programmierung:**
 - Daten aus der CAD-Datenbank sind Grundlage für die Programmierung der Fertigungsanlagen und der Fertigungseinrichtungen.
 - Programmiersprachen: bei Werkzeugmaschinen APT (Automatically Programmed Tools)
 - Abb. 2.22 (APT, EXAPT, Werkstattprogrammiersystem oder graphisches Programmiersystem)

2.2.5 Produktionsablaufplanung

- Wichtigste Parameter: Kundenaufträge, Fertigungsressourcen und Prioritätsregeln.
- Wichtigste Dokumente: Stückliste und Zeichnung.
- Die Ablaufplanung ist eine der schwierigsten Aktivitäten. Es ist ein enormes Hintergrundwissen über die verschiedenen Terminierungsmethoden und -verfahren, deren Vorteile und Grenzen vonnöten.
- Charakteristisch: nahezu unbegrenzter Bedarf an Rechenzeit.
- Algorithmen in logische Steuerungsmodule implementiert, diese in Bibliothek logischer Algorithmen. Algorithmen für einfache und schnelle Ablaufplanungsmethoden werden als Software codiert. Komplexe Algorithmen per VLSI realisiert (Firmware).
- Bild 2.25: Das Lernmodul versucht, aus dem erhaltenen Produktionsplan Verbesserungen für existierende Planungsmethoden zu folgern und schickt die verbesserte Methode an den wissensbasierten Selektor.
- Das Modul zur Konfiguration der Fertigungsanlagen ordnet die zu fertigenden Werkstücke den Maschinen zu, auf denen sie zu bearbeiten sind. Anschliessend werden transportwege bestimmt. Entsprechende Programme werden über einen Feldbus zu den Steuerungen auf der Werkstattebene gesandt.

2.2.6 Fertigungssteuerung und Fertigungsüberwachung

- **Systemsteuerungsarchitektur:**
 - MAP-Protokoll auf oberer Ebene
 - Feldbus-Protokoll auf unterer Ebene.
 - Prozessrechner auf oberer Ebene, Mikrocomputer auf unterer Ebene.
 - Bild 2.26 (Zellsteuerungen etc. mit Transportfahrzeug)
 - Zellensteuerungseinheit mit Gateway
 - Charakteristika der Aufgabensynchronisation
 - backplane-Lösung für einen Maschinenanschluss (über RS-232)
- **Werkstattsteuerung:**
 - Für die Qualitätskontrolle und die Montageüberwachung wird ein modellbasiertes Bilderkennungssystem benötigt, bei dem das Modell des zu erkennenden Objektes über eine standardisierte Schnittstelle aus der CAD-Datenbank abgerufen werden kann.

2.2.7 CIM-Netzwerk der Modellfabrik

- Die Verarbeitung und der Datenfluss wird durch ein hierarchisches Computersystem gesteuert.
- Bild 2.35 (Netzwerk)
- bekannte Topologien (Ring, Bus, Stern)

- Bild 2.37 (Konzeptionelle Netzwerkebenen für CIM: Unternehmensebene (WAN), darunter: Werksebene (LAN), Werkstattenebene (LAN, Feldbus), Zellenebene (LAN, Feldbus))
- MAP/TOP:
 - Versucht, parallel zur MAP-Entwicklung das Anwendungsgebiet von MAP auf die Bereiche Bürokommunikation, Entwicklung und Konstruktion auszudehnen.
 - TOP (Technical and Office Protocol)
 - Die Spezifikationen MAP und TOP sind zum größten Teil identisch und werden es auch bleiben.

2.2.8 CIM-Datenbank

- **Managementinformationssystem:**
 - Das Managementinformationssystem, das die gemeinsamen Daten der Verwaltung, der Konstruktion, der Arbeits- und der Produktionsplanung vorbereitet, handhabt und steuert, bildet das Herz eines rechnerintegrierten Fertigungssystems.
 - Die einzelnen Komponenten des Informationssystems sind die Planungs- und Steuerungsmodulare, die gemeinsame Datenbank, das Computernetzwerk und das Kommunikationssystem.
 - Bild 2.38 (3 Ringe: äußere Ring = Zukunft; innere Ring = Aktivitäten)
 - Stammdateien sollten in einer allgemeinen Datenbank eingerichtet werden.
- **Datenmodelle:**
 - drei klassische Datenmodelle:
 - * hierarchisches Datenmodell:
 - Struktur eines Baumes
 - charakteristische Merkmale: 1:n Beziehung, einfache Datenstruktur, schneller Zugriff auf Daten, starrer Datenzugriff, hohe Redundanz, Darstellung von topologischen Informationen schwierig.
 - * Vernetztes Datenmodell:
 - ebenfalls Baumstruktur: aber nun auch mit horizontalen Beziehungen.
 - Topologische Informationen können bei diesem Modell durch eine Ringstruktur dargestellt werden.
 - Eigenschaften: m:n-Darstellung, komplexe Datenstruktur, schwierig zu implementieren, schwierig umzustrukturieren, geringe Redundanz-
 - * Relationales Datenmodell:
 - bezieht sich auf Menge von Datensätzen (Bild 2.42)
 - Attribute etc.
 - Eigenschaften: m:n-Beziehungen, Zugriff auf Datensätze ist über jedes Attribut möglich, voll abhängig von den repräsentierten Daten, leicht Anpassbarkeit, hohe Flexibilität, schnelle Implementierbarkeit, es kann zu langen Antwortzeiten kommen, hoher Speicherbedarf.
- **Kommunikation mit einem Datenbanksystem:**
 - Sprachadäquatheit

- Spracheinheitlichkeit: nahezu unmöglich, unterschiedliche Themen und Bereiche durch ein und dieselbe Sprache darzustellen.
- Offenheit des Kommunikationssystems: zu beliebigen Zeitpunkten ein-/ausloggen, ohne Aktivitäten der Datenbank zu behindern.
- Gewährleistung der Datenintegrität: Sicherstellung, dass nur korrekte Daten übertragen werden.
- Vorsorge gegen Datenverlust
- Schutz vor Wechselwirkungen bei parallelen Kommunikationsprozessen: darf nicht durch gleichzeitigen Zugriff mehrerer Benutzer beeinträchtigt werden.
- Unabhängigkeit vom physikalischen Übertragungsmedium und vom Rechnersystem
- Zugriffsrechte
- Mehrbenutzerbetrieb

- **Anforderungen an CAD/CAM-Datenbanken:**

- Strukturierte objektorientierte Datenpräsentation (z.B. SQL)
- Modellierung dynamisch veränderlicher Objekte (Erfassen zeitlicher, örtlicher und prozeduraler Beziehungen)
- Modellierung rekursiver Operationen
- Modellierung bereichsspezifischer Datenobjekte
- Konsistenz der Datenbasis
- Datenunabhängigkeit

- **Entwurf der Datenbank:**

- Vier verschiedene Datenbanktypen:
 - * Loser Verbund unabhängiger Datenbanken (Bild 2.47(Ring aus Kreisen)): Wartung individueller Datenbanken einfach, praktisch unmöglich auf andere Datenbanken zuzugreifen, Wartung mit hohen Kosten verbunden, Integration meist schwierig, eine Änderung in einer Datenbank kann Änderungen in anderen Datenbanken nach sich ziehen.
 - * Zentrale Datenbank (Bild 2.48 (1 Kreis mit allem drin)): Minimum an Datenredundanz, hohes Maß an Datensicherheit, für Anwendungen im CAD-Bereich ungeeignet, langsam; Merkmale: umfassender Datenschutzmechanismus nötig.
 - * Vermaschte Datenbank (Bild 2.49 Ring aus sich überlappenden Kreisen mit zentralem Kreis): Vor-/Nachteile: Benutzer verfügt über seine eigene Datenbasis, hat Zugriff auf gemeinsame Daten, gute Datenkonsistenz, zentrale Datenbank benötigt einen guten Schutzmechanismus, schneller Zugriff auf lokale Daten, lokale Verantwortlichkeit, hohe Verfügbarkeit bei Systemzusammenbruch, gut geeignet für Wartung der Datenbestände, Koordination der Schnittstellen zur zentralen Datenbank schwierig.
 - * Verteilte Datenbank: (Bild 2.50): ähnlich einer vermaschten Datenbank, einziger Unterschied: Zugang zur zentralen Datenbank ist eingeschränkt. Vorteile entsprechen denjenigen der vermaschten Datenbanken, allerdings ist der Schutz der zentralen Datenbank besser, da der Zugriff auf deren Datenbestände einer genauen Kontrolle unterliegt.

Kapitel 3

Kommunikationssysteme

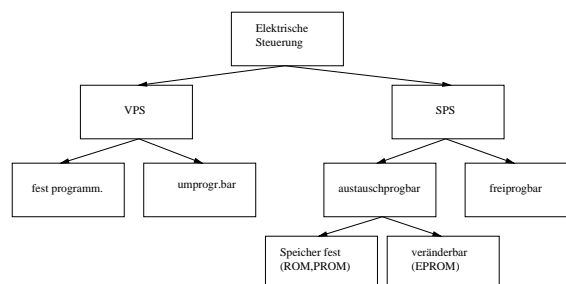
- Datennetze: Aufgabe: Austausch von Daten zwischen Geräten.
- Backbone Netzwerke
- Der Zellenbus verbindet die Anzeige und Bedienkomponenten sowie die Engineering Workstation mit den prozessnahen Komponenten.
- Der Feldbus verbindet die prozessnahen Komponenten mit der Sensor/Aktor-Ebene. Die Aktoren, Sensoren werden als Feldgeräte bezeichnet
- Feldgeräte können intelligent sein, d.h. die haben einen eigenen Prozessor zur Messwertvorverarbeitung. Dieser Prozessor übernimmt auch die Kommunikation über den Bus. (Man kann Aktoren/Sensoren aber auch direkt an den Feldbus anschliessen.
- Der Sensor-Aktor-Bus ist eine besonders einfache und preisgünstige Variante des Feldbusses.
- Bild 3.5 (Moderne Kommunikationsstrukturen (Anschlussmöglichkeiten von Sensoren/Aktoren))
- Kommunikation in Fertigungsbetrieben: Planungsebene – Leitebene – Führungsebene – Steuerungsebene – Aktor/Sensorebene (abnehmende Datenmengen und Reaktionszeit)
- TCP/IP
- ISO/OSI-Referenzmodell
- Für die Fertigungstechnik: MAP/TOP-Spezifikation mit den Protokollen FTAM und MMS.
- FTAM (File Transfer, Access and Management). Grundlage ist die Definition eines virtuellen Dateisystems VFS (Bild 3.16 (baut auf ACSE und CCE (Commitment, Concurrency and Recovery) auf (FTAM-Diensterbringer).
- MMS: Manufacturing Message Specification definiert den Aufbau (Syntax) und den Inhalt (Semantik) der Nachrichtentelegramme, die zur Erfüllung der Fertigungsaufgaben zwischen den programmierbaren Automatisierungsgeräten in Fertigungseinrichtungen auszutauschen sind. Es stützt sich auf Client/Server-Modell (Bild 3.18) und das Virtual Manufacturing Device Modell.

- **Virtual Manufacturing Device Modell:** Voraussetzung für herstellernerneutrale Kommunikation ist, dass auf Funktionen verschiedener Automatisierungsgeräte in gleicher Art und Weise zugegriffen werden kann. Durch Abbildung der Eigenschaften und Funktionen eines Automatisierungsgerätes auf die abstrakten MMS-Objektclassen entsteht ein Modell (VMD-Modell). Es repräsentiert den Server. (Bild 3.21 grob)
- **Kommunikationsprofil:**
 - Lokale Netzwerke besitzen grundsätzlich ein Kommunikationsprofil mit den 7 ISO-Schichten, während die Feldbusse grundsätzlich nur ein aus den OSI-Schichten 1,2 und 7 zusammengesetztes Kommunikationsprofil besitzen!
- **Feldbussysteme:**
 - Der Feldbus ist das digitale Gegenstück zu der weitverbreiteten analogen 4-20mA Schnittstelle. Nachteil: sie kann jeweils nur einen einzigen analogen Wert in eine Richtung übertragen.
 - Feldbussysteme zeichnen sich aus durch: erhöhte Genauigkeit und Übertragungssicherheit, Reduzierung des Verkabelungsaufwandes, Fernkalibrierung möglich, Bereitstellung von Diagnose- und Wartungsfunktionen. (Bild 3.27)
 - Messsignal beim Messaufnahmen liegt nur in digitalisierter Form vor (wandeln)
 - Hersteller von Sensoren und Feldgeräten fahren mehrgleisig und bieten ihre Produkte für mehrere Bussysteme an. und liefern entsprechende Gateways
 - In der Fertigungsautomatisierung PROFIBUS-DB (Siemens), in der Automobilindustrie CAN-Bus von Bosch
 - Der PROFIBUS ist ein genormter, universeller Feldbus, dessen Stärken in der Vernetzung intelligenter Steuerungen und Feldgeräte liegen. Man unterscheidet prinzipiell zwischen Mastern (aktiv (SPS, CNC)) und Slaves (passiv (E/A-Module, Sensoren, Aktoren)). Das Senderecht zirkuliert in Form eines Tokens. (Bild 3.31 (Prinzip: PROFIBUS, Interbus-S)
 - Der Interbus-S hat als Aktor-Sensor-Bus hohe Verteilung gefunden, da der PROFIBUS zu langsam war. Jeder Busteilnehmer empfängt die für ihn bestimmten Telegrammteile vom Bus, liest die Daten bzw. setzt eigene ein und sendet das Telegramm weiter. Fremde Telegramme werden unverändert weitergeschickt.

Kapitel 4

Automatisierbare Funktionen von Fertigungseinrichtungen

- Fertigungs- und Montageeinrichtungen bilden zusammen mit Förder- und Handhabungseinrichtungen die Bausteine der CIM-Fabrik.
- Zur Automatisierung der Funktionen ist moderne Steuerungstechnik eine entscheidende Voraussetzung.
- SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung)
- Mit zunehmendem Automatisierungsgrad nehmen die Probleme (Abweichung von den Plandaten) überproportional zu.
- Bevor die Signale in den Logikteil der Steuerung verarbeitet werden können, müssen diese noch elektrisch entkoppelt und dem Spannungsniveau der Steuerung angepasst werden (Optokoppler, Relais).
- Signale müssen vielfach noch verstärkt werden, um die Lemenete der Stellebene anzusteuern.
- Bild 4.5
- Einteilung elektrischer Steuerungen:



- VPS sind bei erhöhten Sicherheitsanforderungen vorgeschrieben. In vielen Fällen kommen VPS (verbindungsprogrammierte Steuereinheiten) in Kombination mit SPS und/oder CNC-Steuerungen zum Einsatz.

- Selbsthaltung: Signal soll bestehen bleiben, wenn Schalter losgelassen wird.
- Verriegelung: Ist ein Relais angezogen, so kann ein weiteres nicht erregt werden.

Kapitel 5

Speicherprogrammierbare Steuerungen

- Basisaufgabe eines SPS ist die Verknüpfung binärer Signale, aber auch die Bewerkstelligung immer komplexerer Steuerungsaufgaben.
- Ausgangsleistung 0,5-2 A
- Kernstück der SPS ist der Verarbeitungsteil, bestehend aus einer oder mehreren CPU's sowie unterschiedlichen Speichern (RAM, ROM, EPROM)
- Das Betriebssystem, zuständig für das Einlesen, korrekte Aufbereitung der Anwenderprogramme und Überwachung der Zykluszeit (watchdog) ist in einem Systemspeicher (ROM) abgelegt und für den Anwender nicht zugänglich.
- Das Anwenderprogramm kann über eine serielle Schnittstelle in den Programmspeicher der SPS geladen werden.
- Hardwaregruppen (siehe Bild 5.7)
- **Funktionsweise einer SPS:**
 - Bei einer SPS wird das Steuerungsprogramm normalerweise zyklisch abgearbeitet. Es existieren aber auch Sprungzuweisungen.
 - Bei komplexen Steuerungsaufgaben wird das Programm in abgeschlossene Programmteile (Bausteine) unterteilt.
 - Moderne SPS bieten zusätzlich die Möglichkeit der ereignis- bzw. interruptgesteuerten sowie der zeitgesteuerten Bearbeitung.
 - Zyklische Programmbearbeitung (siehe Bild 5.10)
 - Bei der ergebnisgesteuerten Bearbeitung kann die zyklische Programmbearbeitung unterbrochen werden.
 - Bei der zeitgesteuerten Bearbeitung kann die zyklische Programmbearbeitung durch einen Weckalarm unterbrochen werden, um ein spezielles Programm zu bearbeiten.
 - Prozessabbild: Zu Beginn eines Zyklus werden die Signalzustände aller Eingänge abgefragt und in den Eingang-Abbildungsspeicher übernommen. Dieses Zustandsbild bleibt konstant, d.h. alle Zustandsänderungen während dieses Zyklusses werden ignoriert.

- übliche Werte für die Zykluszeit einer SPS liegen zwischen 0,1 und 5 Millisekunden.
- **SPS-Programmierung:**
 - internationale SPS-Programmnorm IEC 1131
 - Kontaktplan-Programmierung: Dabei kann ein bestehender Relaisstromlaufplan durch Einsetzen von Symbolen direkt in das entsprechende SPS-Programm umgesetzt werden.
 - Funktionsplan (Funktionsbausteinsprache), Logikbausteine (UND, ODER, INVERTER)
 - Weitere Funktionsbausteine: Verzögerungselemente, Taktgeber, Zähler, Vergleicher etc.
 - mnemotechnische Anweisungen: S A x (Setze Ausgang x); R A x (Rücksetze Ausgang x)
 - Mit Sprunganweisungen kann man die Zykluszeit verkürzen.
 - Wichtige Ergänzung: Hochsprache (ST, structured text)
 - Anderer Ansatz: ANSI-C
 - SFC (Sequential Function Chart) eigentlich keine neue Programmiersprache, sondern eine komfortable Option zur logischen Strukturierung und graphischen Programmierung.: Grundelemente STEPS und TRANSITIONS
 - Wichtiges Programmsystem ist GRAPH5 von Siemens. (Beispiel Bild 5.17)
- **Programmentwicklung:**
 - Softwareentwicklung ist der entscheidende Kostenfaktor.
 - systematische SPS-Programmierung: Zentrales Element ist dabei das Pflichtenheft.
 - Phasen der SPS-Softwareentwicklung: Spezifikation der Steuerungsaufgabe → Programmwurf → Programmierung → Programmtest → Wartung und Pflege.
 - Die Pflichtenheftentwicklung wird meist sträflich vernachlässigt. Die meisten Softwarefehler entstehen bei der Spezifikation.
 - Entwicklungsumgebung mit Simulationsrechner.
- Integrierte SPS (siehe Bild 5.23) (CNC: Computerized Numeric Controls)

Kapitel 6

Numerische Steuerungen

- wesentlich höhere Flexibilität
- Ziel ist es, dem Anwender ohne wesentliche Änderung der Hardware zusätzliche Optionen anzubieten.
- Funktionen und Eigenschaften von NC/CNC-Steuerungen: Integrationsfähigkeit, Flexibilität, Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit, Produktivität, Präzision.
- **NC-Systeme** besitzen an der Werkzeugmaschine eine Steuerung, in die extern erstellte NC-Programme eingelesen werden. Maschinenbediener kann diese NC-programme nicht ändern.
- **CNC-Systeme** verfügen über einen Rechner, der es dem Bediener ermöglicht, NC-Programme zu schreiben und einzugeben sowie nach Eingeben bzw. Einlesen zu verändern. Die Werkzeug- und Spannmittelmasse können unabhängig vom NC-Programm in die CNC-Steuerung eingegeben werden.
- Keine prinzipiellen Unterschiede zwischen NC- und CNC-Systemen bzgl. Programmiersprache und Bearbeitungstechnologie der Werkzeugmaschine.
- Wesentliche Aufgabe der NC ist die Steuerung der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück.
- Die Bearbeitung des Werkstückes wird durch das NC-Programm beschrieben. (siehe Bild 6.6)
- Der 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.
- Bild 6.8: Steuerungsarten (Punkt-, Strecken-, Bahnsteuerung)
- Die NC-Programmierung erfolgt unabhängig von der Position des Werkstücks im Arbeitsraum der WZM. Die aktuelle Werkstücknullpunktlage ist durch eine Koordinatentransformation zu berücksichtigen. Ähnliche Berechnungen müssen auch zur Korrektur der aktuellen Werkzeuggeometrie durchgeführt werden.
- Je nach Steuerungsausführung werden die Vorschubantriebe bzw. deren Regelkarten von der Geometriedatenverarbeitung mit Lage-, Geschwindigkeits- und Stromsollwerten versorgt. Achsregelung auf der SERVO-Ebene.

- Das überwiegend eingesetzte Regelprinzip ist die kaskadenförmige Lageregelung.
- Bild 6.10. (Informationsfluss in einer numerischen Steuerung. (NC-Interpreter an SPS und Geometriedatenverarbeitung, letztere an Achsregelung))
- **Interpolation:**
 - Anforderungen an eine Interpolation:
 - * Werkstückkontur möglichst genau annähern
 - * Bahngeschwindigkeit unter der Berücksichtigung der Beschleunigungsgrenzen der Antriebe nahezu konstant halten
 - * numerisch vorgegebene Endpunkte müssen exakt angefahren werden.
 - Die Interpolation besteht aus drei Modulen: Grobinterpolator (Annäherung der Geometrie), Interpolator (Berechnet Zwischenpunkte und ist auch zuständig für die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsführung) und Feininterpolator (berechnet eine bestimmte Anzahl von äquidistanten Stützstellen).
 - Die Ausgabedaten sind Sollstellungen zum Sollzeitpunkt. Bei Maschinen mit fünf programmierbaren Achsen muss zusätzlich noch eine Koordinatentransformation dazwischen geschaltet werden.
- **Geschwindigkeitsführung mit und ohne Ruckbegrenzung:**
 - Aufgrund sprunghafter Richtungsänderungen bei endlich konstanter Geschwindigkeit würde es zu unendlichen Beschleunigungs- und Verzögerungswerten kommen.
 - Sprungartiges Ansteigen der Beschleunigung: Vorteile: einfache Berechnungsalgorithmen; Nachteil: hohe Belastung für die Antriebe und Mechanik aufgrund unendlichen Rucks.
 - Es wird solange beschleunigt, bis die programmierte Bahngeschwindigkeit erreicht wird, danach schließt sich eine Konstantgeschwindigkeitsphase an.
 - **Konstante bahngeschwindigkeit bedeutet nicht unbedingt konstante Achsgeschwindigkeit!**
 - In der Realität existiert eine obere Beschleunigungsschranke (Maximale Achsbeschleunigung), was zu einer Bahnabweichung führt.
 - Lineare Beschleunigungsänderung: Vorteile: Genauigkeit (ruhigere und sanftere Maschinenbewegung); Nachteile: erhöhter Rechenaufwand.
 - Bild 6.16 zeichnen und erklären können! (Vergleichskurven, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruck ohne/mit Ruckbegrenzung.)
- **Satzübergänge:**
 - Wenn die Geschwindigkeit bei Beginn und Ende eines jeden Satzes Null ist: Genauhalt. Normalerweise muss in jedem Punkt gewartet werden, um den Schleppfehler abzubauen.
 - Ecken: In einem solchen Fall, in dem die Geschwindigkeit bei Satzübergängen nicht auf Null reduziert wird, spricht man von Überschleifen.
 - Möglichkeit, die Geschwindigkeit indirekt über ein Überschleifenster vorzugeben (Kompromiss zwischen beiden obigen Möglichkeiten).
- **Vorausschauende Geschwindigkeitsführung:**

- Bei einer Steuerung ohne Look-Ahead wird nur die Bahn bis zum nächsten Punkt betrachtet. Deshalb muss die Bahn so abgefahren werden, dass im nächsten Punkt angehalten wird (Genauhalt) bzw. angehalten werden kann (Überschleifen).
 - Look-Ahead bietet den Vorteil, dass sich damit größere Vorschubgeschwindigkeiten erreichen lassen. Die letzten Leistungsreserven können mobilisiert werden.
 - Die Look-Ahead Funktion ist auch äusserst wichtig in der Robotik. (siehe dazu Bild 6.20)
- **Beispiel von Werkzeugkorrekturen:**
 - Aufgabe, die programmierte Sollbahn unter Berücksichtigung der aktuellen Werkzeuggeometrie so zu modifizieren, dass die gewünschte Geometrie ohne Kollision erzeugt wird.
 - Bei der Kollisionsvermeidung wird durch die Steuerung eine begrenzte Anzahl von Sätzen vorausschauend berechnet. Scharfe Innenecken können mit kleinem Radius nicht vollständig vermieden werden.
 - Bei Aussenecken erfolgt die Vermeidung von Konturverletzungen durch Ergänzung von Geradenelementen/Kreiselementen. Vorteilhaft bei Kreisumfahrung: geringer Platzbedarf, nachteilig: das Werkzeug ist beim Umfahren immer im Eingriff. (siehe Bild 6.22)
- **Komponenten einer numerischen Steuerung:**
 - Steigende Anforderungen haben zur Aufteilung von Steuerungsaufgaben geführt (Modulares Steuerungskonzept).
 - Klassische NC der mittleren leistungsklasse ist auf neun programmierbare Achsen ausgelegt. Sie besteht aus: Bedientafel mit NC-Volltastatur, Maschinensteuertafel zur Handbedienung, Zentralsteuerung (Netzteil, Watchdog, NC-Modul, MMC/SPS, E/A-Baugruppen).
- **Aufbau einer Steuerungen:**
 - MMC-Bereich: verwaltet sämtliche Funktionen zur bedienung und Datenhaltung der Steuerung. Hierzu gehört: Visualisierung Prozess- und Stammdaten, Programmierung von NC-Werkstückprogrammen.
 - NC-Kern ist verantwortlich für NC-Datenaufbereitung und Interpolation der Lagesollwerte für jede programmierbare Achse.
 - PLS (oder integrierte SPS) übernimmt die Ausführung der maschinenspezifischen Funktionsabläufe und die logische Verknüpfung von befehlen an die Peripherie. Sie ist weiterhin die Schnittstelle zu anderen speicherprogrammierbaren Steuerungen der Gesamtanlage.
- **Software einer NC:**
 - Hier fehlen 2 Folien!!!
 - Betriebssystem:
 - * zentrale Schnittstelle zwischen der Hardware und den NC-Funktionsprogrammen.
 - * lässt sich in einen hardwareabhängigen zbd eubeb hardwareunabhängigen Teil aufspalten.
 - * Moderne NC-Steuerungen sind multitaskingfähig, und echtzeitfähig. Tasks mit Prioritäten.

- Steuerungsunabhängige Software:
 - * Auf dieser Plattform wird insbesondere kundenspezifische Software gefahren.
- **Funktionsumfang moderner numerischer Steuerungen:**
 - Funktionsumfang gliedert sich in Standardfunktionen und Zusatzfunktionen.
 - **Standardfunktionen:**
 - * Programmierung:
 - Syntax der Programmierung basiert immer auf der DIN 66025.
 - * Überwachung und Diagnose:
 - überwachung der Maschine (Schleppfehler, geometrische Genauigkeit), der Hard- und Software (NC-Selbsttest, Leistungsprüfung) und des Bearbeitungsprozesses (Werkzeugbruch). Ergänzung durch Diagnosefunktionen zur Fehlerlokalisierung.
 - * Funktionsumfang: Kommunikation, Programmierung, Mess- und Korrekturfunktionen, Diagnose, Zellenfunktionen, Bearbeitungssimulation, Benutzerschnittstelle.
 - * Simulation:
 - Um Kosten in der flexiblen Fertigung zu reduzieren.
 - Die Simulation bewerkstelligt eine Überprüfung des NC-Programmes in Bezug auf mögliche Kollisionen im Arbeitsraum bei Verfahrbewegungen sowie eingeschränkt eine Kontrolle der Maße und Konturen. Sie ermöglicht eine Optimierung der Verfahrwege hinsichtlich der Art der Bewegungen und der zugeordneten Geschwindigkeiten.
 - Bei Mehrschlittenbearbeitung unumgänglich.
 - * Korrektur und Messfunktionen:
 - Abweichungen der idealen zur realen Maschine. Statische Fehler und ständig variierende Fehler.
 - Statische Fehler (Spindelsteigungsfehler, Umkehrspanne) werden einmal gemessen und in die Maschinenkonstanten eingetragen.
 - Ständig variierende Fehler (Spanntoleranz, Werkzeugverschleiß, oder temperaturabhängige Maschinenverlagerungen) werden in Messzyklen gemessen.
 - * Benutzerschnittstelle:
 - Bereiche Bildschirm und Tastatur, Handrad.
 - Fensterorientierte Oberflächen mit Softkeys, hochauflösenden Flachbildschirmen.
 - * Externe Kommunikation:
 - von analogen Schnittstellen über Feldbusse bis zum LAN.
 - * Maschineninbetriebnahme, Einstellen der Maschinenkonstanten:
 - Steuerung muss den Merkmalen der Maschine und den bedürfnissen des Anwenders angepasst werden. Es müssen geometrische Daten, Messsysteme, Regelkreise, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen etc. bestimmt und in die MKs eingetragen werden.
 - Sonstige Funktionen:
 - * Erweiterung durch Softwaremodule zur Betriebs- und Maschinendatenerfassung.
 - * Erfassungsdaten sind: Auftragsdaten, Personaldaten und Maschinendaten.

- **Zusatzfunktionen zur Steuerung von Fertigungszellen:**

- Ziel einer automatisierten Fertigungszelle ist es, durch hohe Flexibilität eine hohe Auslastung der Anlage zu erzielen, um möglichst in einem Dreischichtbetrieb eine autarke Bearbeitung zu ermöglichen.
- Diese Anforderungen sind jedoch meist sehr problemspezifisch.
- Eingangsinformation neben NC-Programmen auch Informationen über Werkzeuge, Paletten und Aufträge.
- **Auftragsverwaltung:**
 - * verantwortlich für die Bestandsführung der Werkstücke innerhalb der Zelle. Zusätzlich Bedarfsrechnungen pro Auftrag.
- **Palettenverwaltung:**
 - * eigenes Palettentransportsystem; hat mehrere Bearbeitungsplätze = Verwaltung erforderlich.
 - * Koordinierung des Materialflusses innerhalb der Fertigungszelle-
- **Werkzeugverwaltung:**
 - * Oft benötigt man mehrere Werkzeuge. Nach Stand der Technik kommen maschinen-nahe Werkzeugmagazine mit entsprechenden Werkzeugwechseleinrichtungen zum Einsatz.
 - * Werkzeuge selbst sind über Platzkodierung im Werkzeugmagazin eindeutig identifiziert. Informationen: Geometrie, Korrekturwerte, Reststandzeiten werden in der NC-Steuerung oder im Leitrechner verwaltet.
 - * Grundsätzlich unterscheidet man zwischen grunddaten und spezifischen Informationen zur Werkzeugschneide.
 - * Aufgabe der Werkzeugverwaltung ist die Datenverwaltung und die korrekte Werkzeugauswahl und Werkzeugbereitstellung.
 - * Vor dem Start eines NC-Programmes muss die Maschine “eingerrichtet” werden. Dies umfasst das “Einstellen” und das “Vermessen”.

- **Entwicklungstendenzen bei NC-Steuerungen:**

- NC-Kernfunktionen:
 - * Spline-Interpolation
 - * Lageregelung (z.B. Vorsteuerung mit inverser Lageregelung)
 - * Look-Ahead-Satzaufbereitung.
 - * Hohe Bearbeitungsgenauigkeiten bei gleichzeitig hohen Vorschubgeschwindigkeiten.
 - * Intelligenz (selbständige Berechnung der Vorschübe, Drehzahlen, Schnittaufteilungen).
- Benutzerschnittstelle:
 - * z.B. Spracherkennung und Sprachverarbeitung zur Auslösung von Befehlen.
- NC-Hardware und Software:
 - * hardwaremässige Einbindung einer PC-Karte über ein Bus-System.
 - * Integrierte Datenbanken ermöglichen ein komfortables Handling von Technologie-, Korrektur, Diagnose- und Werkzeugdaten.
- Offene Steuerungssysteme:

- * O.S. dienen der Bereitstellung flexibler, vom Maschinenhersteller anpassbarer Steuerungsfunktionen und der Erhöhung der Stückzahlen marktgängiger Standardkomponenten.
- Bild 6.52 (Problemfelder im Zusammenhang mit geschlossenen numerischen Steuerungen)
- Hersteller- und hardwareunabhängige Steuerungsarchitektur OSACA.:
 - Baukastensystem, das die Funktionalitäten von NC, SPS, IRC und Zellrechner enthält.
 - Wesentliches Merkmal dieses Konzeptes ist eine Entkopplung der Anwendersoftware von der Steuerungshardware. Es wurde eine Systemsoftwareschicht geschaffen, die als Bindeglied zwischen Applikationssoftware und Hardware.
 - Die eigentliche Steuerungstechnik spielt sich in der Applikationssoftware ab.
 - Auf oberster Ebene (CONTROL) Gliederung in fünf Klassen: (Aufbau siehe Bild 6.54)
- **Programmierung von numerischen Steuerungen:**
 - Das NC-Programm besteht aus einer Anzahl von Sätzen, die jeweils einem Bearbeitungsschritt entsprechen.
 - Programmschlüssel ist in DIN 66025 festgelegt.
 - Jeder Satz besteht aus einem oder mehreren Wörtern, die sich aus den Adressbuchstaben und den Zahlenwerten zusammensetzen (Adressbuchstabe z.B. G für Geometrie)
 - Prinzipieller Aufbau eines NC-Programms (Bild 6.58)
- **Koordinatensysteme und Bezugspunkte:**
 - Die Lage des Koordinatensystems ist in DIN 66217 festgelegt.
 - Vereinbarungen:
 - * rechtshändiges, rechtwinkliges Koordinatensystem.
 - * z-Achse bezieht sich auf die Hauptführungsbahn bzw. auf das in der Maschine eingespannte Werkstück.
 - * positive Richtung von z vom Werkstück zum Werkzeug.
 - * x-Achse parallel zur Werkstückaufspanfläche und verläuft wenn möglich horizontal. (Hauptachse in der Positionierebene)
 - * positive Drehsinn ist nach der “Rechtsschraubenregel” festgelegt.
 - An einer NC-Maschine sind verschiedene Bezugspunkte definiert.
 - Der Maschinen-Nullpunkt M liegt im Ursprung des Maschinenkoordinatensystems.
 - Der Werkstücknullpunkt ist der Ursprung des Werkstückkoordinatensystems, auf das sich die Programmierung bezieht. Er kann vom Bediener frei gewählt werden.
 - Der Programm-Nullpunkt wird vor Programmbeginn vom Referenzpunkt aus von Hand und am Ende des Bearbeitungsvorganges per Programm angefahren.

Kapitel 7

Programmierung und Schnittstellen

- **Manuelle Programmierung:**

- In dem zusätzlich zu erstellenden Einrichteblatt werden dem Maschinenbenutzer Angaben über die Spannanlage des Werkstücks, die verwendeten Werkzeuge (Codenummer, Einstelllänge) und häufig auch über die Entfernung des Startpunktes der Schlitten vom Referenzpunkt mitgeteilt.
- Programmierung nach DIN ist sehr aufwendig und der Befehlsumfang nur wenig auf den Bediener zugeschnitten.
- Aufgaben wie Prozessüberwachung, Messzyklen und insbesondere mathematische Operationen (z.B. Spline-Interpolation) müssen von modernen Steuerungen beherrscht werden. Aus diesem Grund wurde DIN 66025 nach ISO/DIS 6132 erweitert. (neue Sprachteile in eckigen Klammern).

- **Maschinelle Programmierung:**

- Bei der maschinellen Programmierung wird die Werkstückbearbeitung mittels problemorientierter Sprache oder graphisch-interaktiv beschrieben.
- APT (Automatically Programmed Tools); EXAPT (Extended APT)
- Die Programmierung erfolgt entweder textuell oder graphisch-interaktiv.
- Die erzeugten Informationen umfassen:
 - * Allgemeine Aufgaben (Werkstücknummer, Art der bearbeitenden Maschine)
 - * Geometrische Informationen (Konturbeschreibungen oder spezielle Geometrien wie Nuten, Taschen etc.)
 - * Technologische Informationen.
- Zur automatischen Erstellung der programmierten Bewegungsabläufe durch den CLDATA-Prozessor (Cutter Location DATA) werden technologische Daten wie Werkstoff- oder Werkzeugkennwerte bereitgestellt. Die Kennwerte beschreiben den Zusammenhang zwischen Vorschubgeschwindigkeit und Schnittgeschwindigkeit.
- Die Maschinendatei umfasst maschinenspezifische Daten, wie Spindelleistungen, Drehzahlbereiche etc.
- Bild 7.7 (Alternativen zur Generierung von NC-Programmen):

- * **Alternative 1:** Die Beschreibung der Roh- und fertigteilekontur erfolgt dann von einem zu definierenden Anfangspunkt durch Umfahren der Kontur im Uhrzeigersinn und Aneinanderreihung einzelner Konturelemente, wobei Rotationssymmetrie bei Drehteilen berücksichtigt werden kann. Umwandlung erfolgt über einen Prozessor und einen Post Prozessor. Der Prozessor prüft auf formale Eingabefehler. Die vom Prozessor erstellten Daten sind unabhängig von der verwendeten WZM und werden als CLDATA bezeichnet. Im PostProzessor werden die Daten an eine vorgegebene WZM angepasst, basierend auf den Daten der Maschinendatei.
- * **Alternative 2:** "Neutrales" Programm. Manche Programmiersysteme verwenden einen NC-Code, der stark an die DIN 66025 angelehnt ist. Vorteil: Der PostProzessor kann einfach konfiguriert werden. Andere Systeme übersetzen dieses direkt.
- * **Alternative 3:** Direkte Erstellung eines maschinenbezogenen NC-Programms.

- **CAD/CAP/CAM-Kopplung:**

- Stärkere Einbeziehung von CAD-Systemen in den Prozess der Erstellung von NC-Programmen. Hier gibt es zwei Möglichkeiten:
 - * Nutzung eines integrierten CAD- und NC-Programmiersystems.
 - * Kopplung der CAD- und NC-Systeme durch geeignete Datenschnittstellen.
- NC-Programme werden in der Arbeitsvorbereitung erstellt. Es wird eine DNC-Schnittstelle (Direct Numerical Control). In diesem Fall herrscht eine klare Aufgabenteilung zwischen Konstruktion/Arbeitsvorbereitung (Fertigungsplanung) und Fertigung.
- Bei Einzel- und Kleinserien hat die WOP (werkstatorientierte Programmierung) viele Vorteile, bei Großserien bietet sich die Programmierung in der Arbeitsvorbereitung an.
- Bild 7.13
- Das integrierte Modell hat den Vorteil, dass das NC-Modell direkt auf den gemeinsamen Datenspeicher zugreifen kann.
- Änderungen am Bauteil wirken sich rückwirkend auf das CAD-Modell aus.
- Das NC-Programm liegt nach der Programmierung in Form eines DIN NC-Programms für die entsprechende Zielmaschine vor.
- Bei getrennten Systemen unterscheidet man zwischen vier Formaten der zu übergebenden Geometriedaten:
 - * Sprache des Teileprogramms (Geometriaufbereitung bereits im CAD-System)
 - Nachteilig ist, dass das CAD-System nur mit einem Programmsystem verbunden werden kann, das auch in der Lage ist, die entsprechende Sprache zu verarbeiten.
 - Vorteilhaft ist, dass lediglich Technologiedaten in das CAD-erzeugte Teileprogramm hinzugefügt werden müssen.
 - * Makrosprache (s.o.)
 - Hier erfolgt der Datenaustausch über definierte Bearbeitungsgeometrien.
 - Das NC-Programmiersystem interpretiert diese Makros.
 - Methode besonders dann angewendet, wenn das Bautilspektrum gering ist und die Geometrie wenig variiert.
 - * genormtes Schnittstellenformat
 - Daten können für eine Mehrzahl der Programmiersysteme genutzt werden.

- Gängige Schnittstellenformate: VDAFS (Verb. d. Automobilindustrie Flächen-Schnittstelle), IGES, DXF.
 - Nachteilig an Schnittstellenformaten ist, dass diese nur gestaltbeschreibende Daten enthalten, so dass bearbeitungsrelevante Informationen manuell aufwendig in das NC-Programmiersystem Übertragen werden müssen.
 - STEP (Standards for the Exchange of Product definition data). Die Produktinformationen der verschiedenen Partialmodelle von STEP sind implementationsunabhängig.
 - * individuelles Schnittstellenformat
 - Die Prozessoren bzw. Programme, die die CAD-Daten in das Datenformat des Programmiersystems umwandeln, müssen vom Anwender selbst erstellt werden, ohne Unterstützung des CAD-Systemherstellers. Dies kann zu Problemen bei auftretenden Übersetzungsfehlern führen.
- **Probleme bei der CAD/CAP/CAM-Kopplung:**
- Geometrieangepasst (ausgehend vom Bauteilemodell werden zunächst einzelne Geometriemodelle erzeugt, welche dann Basis für die weitere Programmierung sind.)
 - Unterschiedliche Genauigkeit der Systeme (Rundungsfehler)
 - Unvollständige Geometrien: Bei der vom Konstrukteur gewählten Bildschirmauflösung werden oft Lücken und Überlappungen nicht erkannt.
 - Unterschiedliche Toleranzbemaßung.
 - siehe Bild 7.21
- **Werkstatorientierte Programmierung:**
- Ziel: starre Organisationsstrukturen aufzulösen.
 - WOP: NC-Steuerung mit integriertem Programmiersystem
 - Das Programmiersystem zeigt schon bei der Eingabe die programmierte Geometrie Schritt für Schritt an und simuliert anschliessend die Werkzeuge und deren bewegungen inklusive der Zerspanung.
 - Von entscheidender Bedeutung ist die Bereitstellung leistungsfähiger Grafik:
 - * Eingabegrafik
 - * Hilfsgrafik (Anzeigen von Bohrbildern, Spannmitteln)
 - * Simulationsgrafik
 - **WOP-Philosophie:**
 - * Gleiche Programmierung mit einheitlichen Dialogen für alle Fertigungstechnologien
 - * Einheitliche Programmierung in der Werkstatt und der AV
 - * Graphisch-interaktive Programmierung
 - * Programmierung der Werkstück-Geometrie und nicht der Werkzeugwege, wie bei der Programmierung nach DIN 66025 !!!!
 - * Getrennte Programmierung von Geometrie und Technologie
 - * Graphisch-dynamische Simulation
 - * Auf Anhieb fehlerfreie Programme erzeugen

- In einigen Fällen kann WOP nicht angewendet werden: Fräsarbeiten bei komplexen 3-D-Teilen für die Flugzeugindustrie, Maschinengehäuse mit komplexen Bohrarbeiten, für Anwender, die bei ihrem Maschinenpark auf mehrere Fabrikate und damit auch Steuerungen angewiesen sind.

- **Programmierkosten:**

- Manuelle Programmierung und graphisch-interaktive Programmierung werden mit zunehmender Komplexität der Bearbeitungsaufgabe unwirtschaftlich.
- CAD-Anbindung hat insbesondere bei komplexeren Werkstücken erhebliche Vorteile
- WOP hat ihre Stärken in Bereichen mittlerer Werkstückskomplexität. (siehe Bild 7.29)

- **Programmierbare Achsen:**

- wichtigste Elemente von automatisierten Fertigungseinrichtungen. Sie werden auch Vorschubantriebe genannt.
- Aufgabe: Anhand von NC-Daten eine Bewegung auszuführen.
- Beim Einsatz von stetigen Antrieben ist ein Regelkreis (Lageregelkreis) erforderlich, bestehend aus Regeleinrichtung, Antriebssystem (verstärkter Motor, mechanische Übertragungselemente) und Messsystem.
- Anforderungen an programmierbare Achsen:
 - * Verzerrungsfreie Signalübertragung (Übergang ohne Schwingungen)
 - * Hohe Dynamik (schnelle Änderungen)
 - * Präzises Ausregeln der Störgrößen (hohe statische und dynamische Steifigkeit des Antriebs und der Regelstrecke)
 - * Optimale Anpassung der Achsparameter (Übertragungsverhalten der Vorschubantriebe muss aufeinander abgestimmt sein).
 - * Sonderfall: Schrittmotor: Hier führt jeder Stromimpuls zu einer definierten Winkeldrehung (theoretisch).