

1. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER NC/CNC-TECHNIK

1.1. ENTWICKLUNG DER WERKZEUGMASCHINEN

Am Beispiel der Drehmaschine kann beispielhaft die Entwicklungsgeschichte der Werkzeugmaschine in vier Stufen aufgezeigt werden.

1. Stufe (Mittelalter)

Arbeits- und Vorschubbewegung werden von Hand ausgeführt.

2. Stufe (ab 1800)

Muskelkraft wird durch Wasser-, Dampf- und Elektro kraft abgelöst. Erzeugung und Einhaltung der Werkzeugbahn gegenüber dem Werkstück wird durch Erfindung des Supports an die Maschine abgegeben.

3. Stufe (ab 1935)

Automatische Abläufe an Werkzeugmaschinen durch Benutzung mechanischer Programmträger, wie Kurvenscheiben, Steuertrommeln bzw. hardwaremäßig realisierte Programmträger wie Stecktafeln usw.

4. Stufe (ab 1960)

Automatische Abläufe an Werkzeugmaschinen durch numerische Steuerungen

1.2 ENTWICKLUNG DER NC/CNC-MASCHINEN

1808	Josef M. Jacquard gilt als Erfinder des austauschbaren Datenträgers. Er benutzte gelochte Blechkarten zur automatischen Steuerung von Webmaschinen.
1949	Die US-Air Force beauftragte das M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), ein System für Werkzeugmaschinen zu entwickeln, das die Werkzeugwege durch eine Rechenmaschine direkt steuert.
1952	Im M.I.T. lief die erste numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine (Cincinnati Hydrotel mit vertikaler Spindel). Die mit Elektronenröhren bestückte Steuerung erhielt ihre Daten über einen binär codierten Lochstreifen und ermöglichte bereits eine simultane Bewegung in drei Achsen (3-Achsen-Linearinterpolation).
1954	Mit den Forschungsergebnissen, die im M.I.T. gesammelt wurden, konnte die erste industriell gefertigte NC-Maschine gebaut werden.
1957	In den Werkstätten der US-Air-Force wurden die ersten NC-Fräsmaschinen installiert.
1958	Die erste symbolische Programmiersprache APT (Automatically Programmed

- Tools) wurde entwickelt.
- 1960 Zunehmender Einsatz von NC-Maschinen auch außerhalb der USA.
Auf der Hannover-Messe zeigten deutsche Hersteller ihre ersten NC-Maschinen.
Die Elektronenröhren wurden durch Transistoren abgelöst.
- ab 1960 Zunächst wurden vielfach vorhandene Werkzeugmaschinen mit numerischen Steuerungen nachgerüstet.
Die Erfahrungen mit diesen Maschinen zeigten sehr bald, daß zur optimalen Nutzung spezielle Maschinenkonstruktionen erforderlich wurden.
Es entstanden NC-gerechte Werkzeugmaschinen, gekennzeichnet durch stabilere Konstruktion, stärkere und stufenlos regelbare Antriebe (Gleichstrommotoren), Einsatz von Wälzführungen oder hydrostatischen Führungen und Kugelumlaufspindeln.
- Weiterhin wurde im Laufe der Zeit der Automatisierungsgrad der Maschinen durch automatische Werkzeugwechsler (1965), Palettenwechsler sowie Werkzeugschnellspanner erhöht.
- ab 1968 Den entscheidenden Durchbruch bekam die NC-Technologie durch die Entwicklung der modernen Elektronik. Integrierte Schaltkreise (1968) und Mikroprozessoren (1976) führten zu einer entscheidenden Kostensenkung und Leistungssteigerung.
Die Hardware der Steuerungen wurde zum größten Teil durch Software ersetzt.

Aus dieser Entwicklung entstanden die CNC-Maschinen mit ihren Vorteilen:

- Programmeingabe über die Tastatur
- Optimierung von Programmdateien an der Maschine
- Bohr-, Fräs- und Drehzyklen
- Verrechnung von Werkzeugkorrekturwerten
- Arbeitsfeldbegrenzung und Vorschubgeschwindigkeitsbegrenzung
- Ausgleich des Spindelumkehrspiels
- Graphischer Bildschirm
- Schnittkraftüberwachung
- Anpassungsmöglichkeit an neue Softwareentwicklung
- Geometrieprozessor

1.3 Entwicklungstendenzen

Während NC-Werkzeugmaschinen im wesentlichen auf die Kleinserienfertigung komplizierter Teile beschränkt waren, werden CNC-Werkzeugmaschinen Bereiche erschließen, die bislang herkömmlichen Werkzeugmaschinen oder Automaten vorbehalten waren.

2. STAND DER MODERNEN NC-TECHNIK

2.1 NC- UND CNC-WERKZEUGMASCHINEN

NC ist aus der amerikanischen Terminologie übernommen und steht als Abkürzung für 'Numerical Control'; übersetzt 'numerische Steuerung'. (= mit Hilfe von Zahlenwerten gesteuert)

Nach DIN 66257 gilt folgende Begriffs-Definition:

'Steuerung für Arbeitsmaschinen, bei der die Daten für geometrische und technologische Funktionen als Zeichen (Buchstaben, Ziffern, Sonderzeichen) eingegeben werden'.

NC stellt kein Fertigungsverfahren dar, sondern ist neben verschiedenen anderen Möglichkeiten nur ein spezielles Konzept zur Steuerung einer Werkzeugmaschine. Die Funktionen einer NC-Maschine werden durch ihre NC-Steuerung bestimmt; sie führt die geometrischen, technologischen und programmtechnischen Anweisungen aus.

Bei konventionellen NC-Steuerungen sind die erforderlichen Steuerungsfunktionen in 'Hardware' realisiert (festprogrammiert durch Verdrahtung). Diese verbindungsprogrammierten Steuerungen (Relais- oder kontaktlose Schaltungen) sind dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einer Anzahl (elektronischer) Bauelemente bestehen, die untereinander fest verdrahtet sind. Die Verbindungen bestehen aus Schaltdraht oder bei sogenannten gedruckten Schaltungen - aus Kupferbahnen auf Platinen.

Schaltungsänderungen sind bei fester Verdrahtung äußerst schwer durchzuführen. Zudem kann jede Funktionseinheit der numerischen Steuerung nur für die ihr zugeordnete Aufgabe eingesetzt werden. Mit umfangreicher werdendem Anforderungsprofil mußte daher bei der konventionellen numerischen Steuerung die Hardware vervielfacht werden. Durch den Einsatz von Kreuzschienenverteilern sind verbindungsprogrammierte Steuerungen umprogrammierbar.

Eine Erweiterung der konventionellen NC-Steuerung stellt z.B. die Integration eines (Zwischen-)Speichers - SNC - System - sowie eines verbindungsprogrammierten Interpolators dar.

Im Vergleich zu NC - Steuerungen bieten **CNC - Steuerungen (Computerized Numerical Control)** eine wesentlich höhere Flexibilität gegenüber Änderungen. Es muß keine Verdrahtung, sondern nur Speicherinhalt geändert werden, das heißt, die Verbindungsprogrammierung wird durch Speicherprogrammierung abgelöst. Bei der durch die Integration eines Microcomputers freiprogrammierbaren Steuerung läuft die Ausführung aller NC - Funktionen über Microprozessoren ab. Die Beschreibung der NC - Funktionen sind Anwenderprogramme, die im Speicher abgelegt sind. Mit zunehmendem Anforderungsprofil werden lediglich mehr Speicherkapazität und zusätzliche Programme benötigt. Aufgrund des hohen Leistungsumfanges werden moderne CNC-Steuerungen als Mehrprozessor-Steuerungen (MPST) ausgelegt.

Durch die programmtechnische Realisierung der NC-Funktionen verringert sich der Anteil der störanfälligen Baugruppen in der Steuerung. Der frühere Engpaß beim Testen und Optimieren von NC-Programmen - die durchschnittlich drei- bis viermal geändert wurden - ist durch CNC-Systeme aufgehoben. Für Betriebe ohne Datenverarbeitungsorganisation in der Arbeitsvorbereitung ermöglichte die CNC-Steuerung den Einstieg in die rechnerunterstützte Fertigung.

Nach DIN 66257 ist der Begriff **CNC** wie folgt definiert:

" Eine numerische Steuerung, die einen oder mehrere speicherprogrammierbare Rechner enthält. Die Funktionsmerkmale dieser numerischen Steuerung werden im wesentlichen durch die Programmierung der Rechner (CNC - System - Programm) bestimmt."

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Microcomputersystemen ist die CNC eine von Grund auf neu konzipierte Steuerung, der neben den reinen Steuerungsfunktionen ein erweiterter Aufgabenbereich zugeordnet wird:

- Eingabe und Editierung an der Maschine
- Dateiverwaltung
- Unterprogrammtechnik
- programmierte Schnittaufteilung
- Geometriefunktionen
- Spiegelungen, Drehungen, Mehrquadrantenprogrammierung
- Werkzeuglängen- / -radiuskorrektur
- Bedienerführung im Dialog
- Bildschirm für Betriebsdaten, Diagnose und grafische Darstellungen
- Kompensation von mechanischen Positionierungenauigkeiten
- Setzen von Software-Endschaltern
- variable Platzcodierung der Werkzeuge
- Kollisionsüberwachung bei Mehrschneidenbearbeitung
- integrierte Maschinenanpaßsteuerungsfunktionen
- Maschinendatenerfassung

Bei modernen CNC-Steuerungen erfolgt die 'Kommunikation' mit der Werkzeugmaschine über eine integrierte speicherprogrammierbare Steuerung (SPS; bzw. engl. PC = Programmable Controller).

2.2 BEARBEITUNGSZENTREN

Bearbeitungszentren sind NC-Werkzeugmaschinen, deren Entwicklung eng mit der NC-Technik verbunden ist. Den unterschiedlichen Bauarten und -größen liegen folgende gemeinsame Kennzeichen zugrunde:

Es werden mehrere - im Prinzip alle - Zerspanungsarten auf einer Maschine ausgeführt.

Der Werkzeugwechsel erfolgt automatisch.

Die Maschine ist um eine Werkzeugwechsellvorrichtung und ein Werkzeugmagazin ergänzt.

Die Werkstücke können in einer Aufspannung von vier oder fünf Seiten bearbeitet werden.

Es sind oft automatische Werkstückwechseinrichtungen (überwiegend Palettenwechselsysteme) integriert.

Rundum-Bearbeitung eines 'Phantasie'-Bauteiles im Bearbeitungszentrum

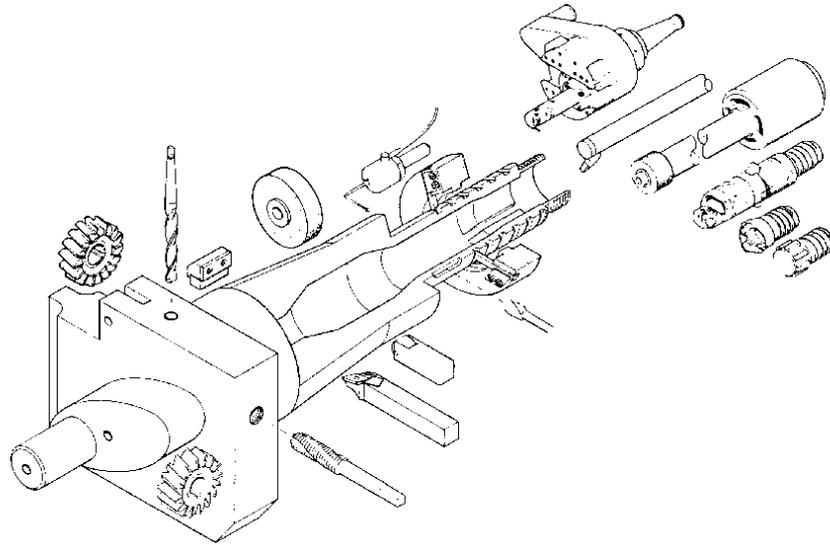


Abb.1.1 : Bauteil in einem Bearbeitungszentrum

Die CNC-Steuerung muß die (zusätzlichen) Funktionen des Bearbeitungszentrums unterstützen:

- umfangreiche Werkzeugdateiverwaltung mit den zugehörigen Korrekturwerten,
- Programmierung der Werkzeugwechselzyklen
- Steuerung der Achsen- und Greiferbewegungen der Werkzeugwechseleinrichtung,
- (eventuell) variable Platzcodierung,
- Steuerung des Werkstückwechsels,
- Erfassung von Betriebs-/Maschinenzuständen,
- Kollisionsüberwachungen.

Bearbeitungszentren - mit automatischem Werkstückwechsel werden auch als Basisbausteine von flexiblen Fertigungssystemen verwendet.

2.3 DNC-SYSTEME UND BETRIEBSDATENERFASSUNG (BDE)

Nach DIN 66257 ist der Begriff DNC (Direct Numerical Control) wie folgt definiert:

'Ein System, bei dem mehrere numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen mit einem gemeinsamen Rechner verbunden sind, der die Daten der Steuerprogramme für die Arbeitsmaschinen verwaltet und zeitgerecht verteilt.

Anmerkung: Zusätzliche Funktionen können sein: z.B. das Erfassen und Auswerten von Betriebs- und Meßdaten sowie das Ändern von Daten eines Steuerprogramms.'

Zur NC-Programmverwaltung im **DNC-Betrieb** zählen folgende Funktionen:

- Speichern von NC-Programmen
- Führen eines Programmverzeichnisses
- Suchen von Programmen
- Ein- und Ausgabe von Programmen
- NC-Daten-Verteilung.

Erweiterte Funktionen sind:

- Führen von Werkzeug-, Werkstoff- und Spannmitteldateien
- Editierung von NC-Programmen
- Betriebs- und Meßdatenerfassung und -verarbeitung
- Materialfluß - Steuerungsfunktionen.

Folgende **Vorteile** von DNC-Systemen werden genannt:

- sichere und schnelle Datenübertragung (u.a. Reduzierung der Eingabefehler)
- keine Lochstreifenverwaltung
- größere Flexibilität der Fertigungssteuerung
- zentrale Betriebsdatenerfassung.

Eine wichtige Komponente des DNC-Betriebs ist das Datenübertragungs- bzw. Kommunikationssystem. Die numerischen Steuerungen besitzen entweder eine eigene DNC-Schnittstelle oder es wird die vorhandene Schnittstelle für den Lochstreifenleser/-stanzer verwendet.

Parallel zu der Entwicklung von DNC-Systemen wurde durch Impulse aus dem Bereich der kommerziellen Datenverarbeitung die Automatisierung im Bereich der Betriebsdatenerfassung vorangetrieben.

Struktur eines DNC - Systems

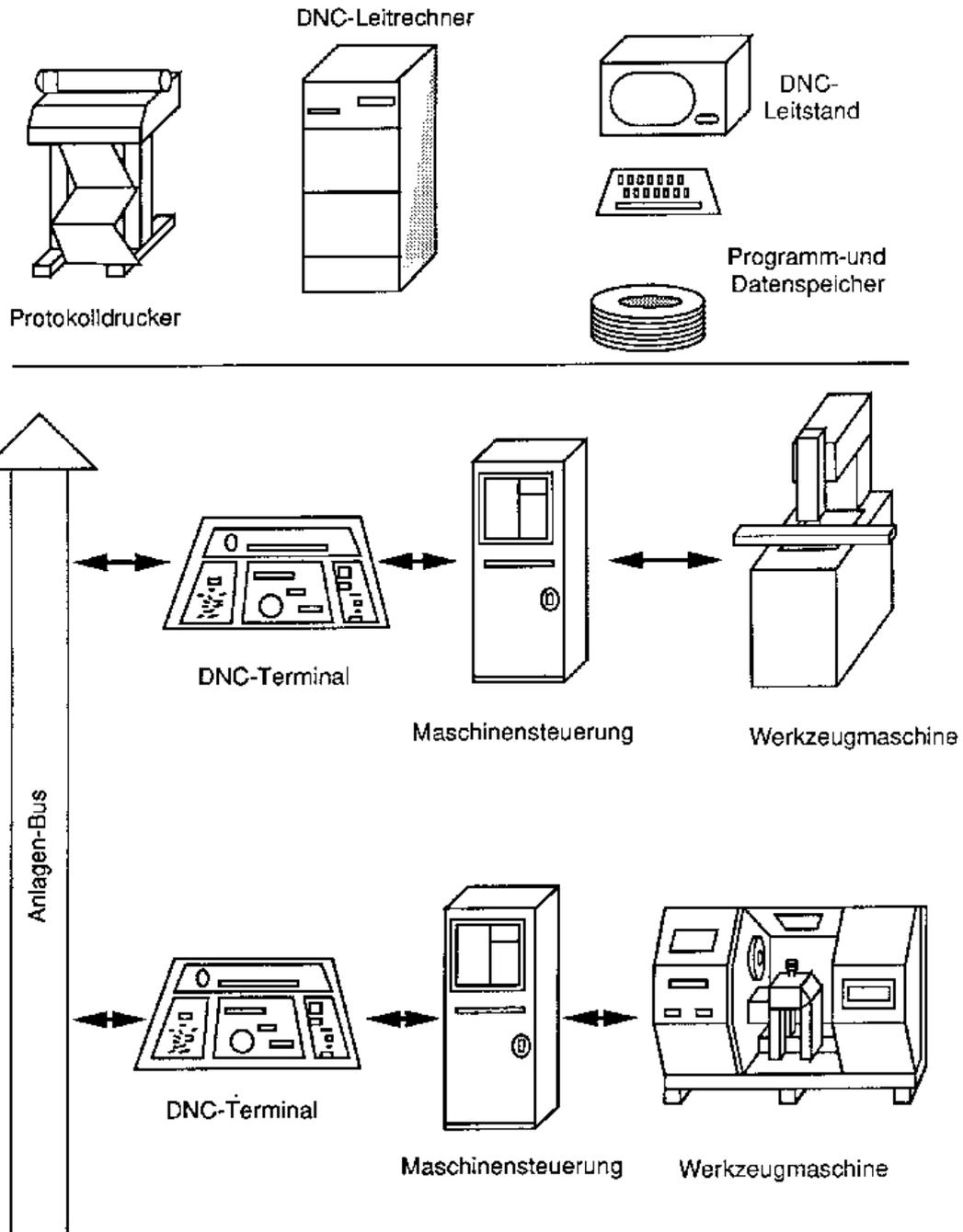


Abb. 1.2 : Struktur eines DNC - Systems

2.4 Flexible Fertigungszelle

Im allgemeinen versteht man unter einer „flexiblen Fertigungszelle“ eine numerisch gesteuerte Einzelmaschine, die zur Erhöhung des Automatisierungsgrades um verschiedene Einrichtungen erweitert ist. Es handelt sich um eine einstufige Bearbeitung mit Maschinenbeschickung und automatisiertem Werkzeugwechsel.

Im Idealfalle gehört zur autonomen Funktion der Fertigungszelle die Werkstoff-, Werkzeug-, Meßzeug-, Spannzug und Hilfsmittelbereitstellung, deren Handhabung sowie die Ausgabe der Produkte, Abfallstoffe und Hilfsstoffe. Daneben sind Meßsysteme und Sensoren zur Betriebsdatenerfassung zum Zwecke des automatischen Ablaufes vorhanden. Die Sensoren überwachen fortlaufend Maschinenfunktionen und melden Störungen an das Steuerungssystem. Zu den Aufgaben des Prüfsystems gehört vor allem das Messen der Werkstücke, möglichst in der Bearbeitungsaufspannung. über die gemeldeten Meßergebnisse kann das Steuerungssystem die notwendigen Korrekturrechnungen durchführen und die Sollwertvorgaben im Speicher der Steuerung beeinflussen.

Derzeit werden besondere Anstrengungen zur Entwicklung von Diagnose- und Überwachungssystemen unternommen. Durch solche Systeme können z.B. gefährliche Betriebszustände (Werkzeugbruch/-verschleiß) sowie fehlerhafte Funktionen (gestörter Späne-transport) rechtzeitig erkannt bzw. verhindert werden. Zur Überwachung der Maschine werden zum Teil auch die Kontrolle von Werkzeugwechselzeiten, die Leistungsaufnahme der Antriebe sowie das Lageregelverhalten der Achsen in die Diagnose einbezogen.

Komponenten einer flexiblen Fertigungszelle

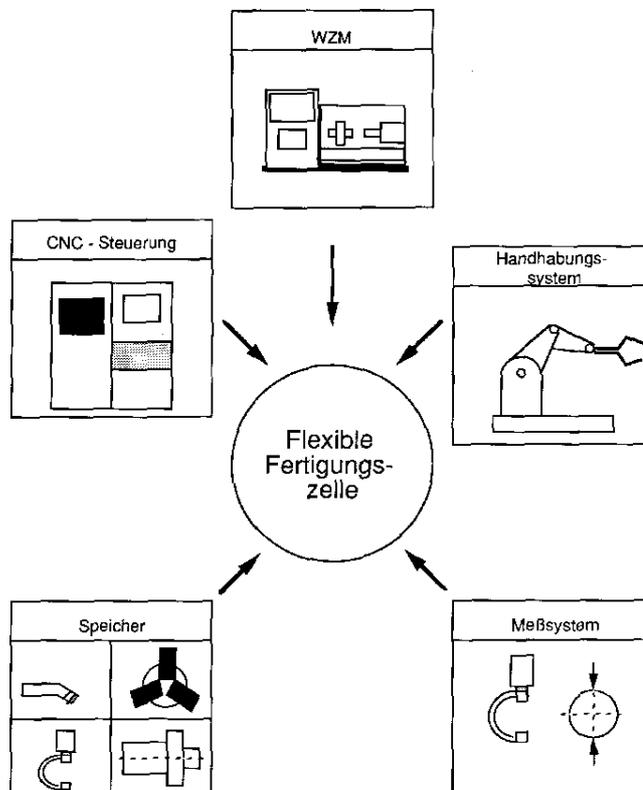


Abb.1.3 Komponenten einer flexiblen Fertigungszelle

2.5 FLEXIBLE FERTIGUNGSINSEL

Der nächst höheren Systemstufe nach der flexiblen Fertigungszelle ist die flexible Fertigungsinsel zugeordnet.

Die Fertigungsinsel integriert verschiedene Fertigungsverfahren, die jeweils durch die Bearbeitungsaufgabe bestimmt sind. Die einzelnen Arbeitsmaschinen sind mittels einer automatischen Transporteinrichtung so miteinander verbunden, daß eine vollständige Bearbeitung ohne Zwischenlagerung möglich ist. Der wirtschaftliche Einsatzbereich von Fertigungsinseln liegt bei mittleren Losgrößen. Die je Losgröße unterschiedlichen Werkstücke werden nacheinander bearbeitet.

Anmerkung: Die Differenzierung zwischen der flexiblen Fertigungsinsel und dem - im nächsten Kapitel beschriebenen - flexiblen Fertigungssystem (letzteres als Vorstufe zur vollautomatisierten Fabrik) ergibt sich im wesentlichen aus dem Grad der Flexibilität sowie des damit verbundenen Automatisierungsgrades.

Während in flexiblen Fertigungsinseln Werkstücke mittlerer Losgröße durch verschiedene Verfahren in der geforderten Stückzahl nacheinander gefertigt werden, erfolgt in flexiblen Fertigungssystemen die Ausführung unterschiedlicher Bearbeitungsfolgen an unterschiedlichen Werkstücken in wahlfreier Folge und bei verschiedenen Losgrößen. Technologie bzw. Anlagenhersteller verzichten oft auf eine Differenzierung in der Einordnung ihrer Systeme. Auch in der einschlägigen Fachliteratur wird die flexible Fertigungsinsel nicht durchgängig behandelt bzw. dargestellt.

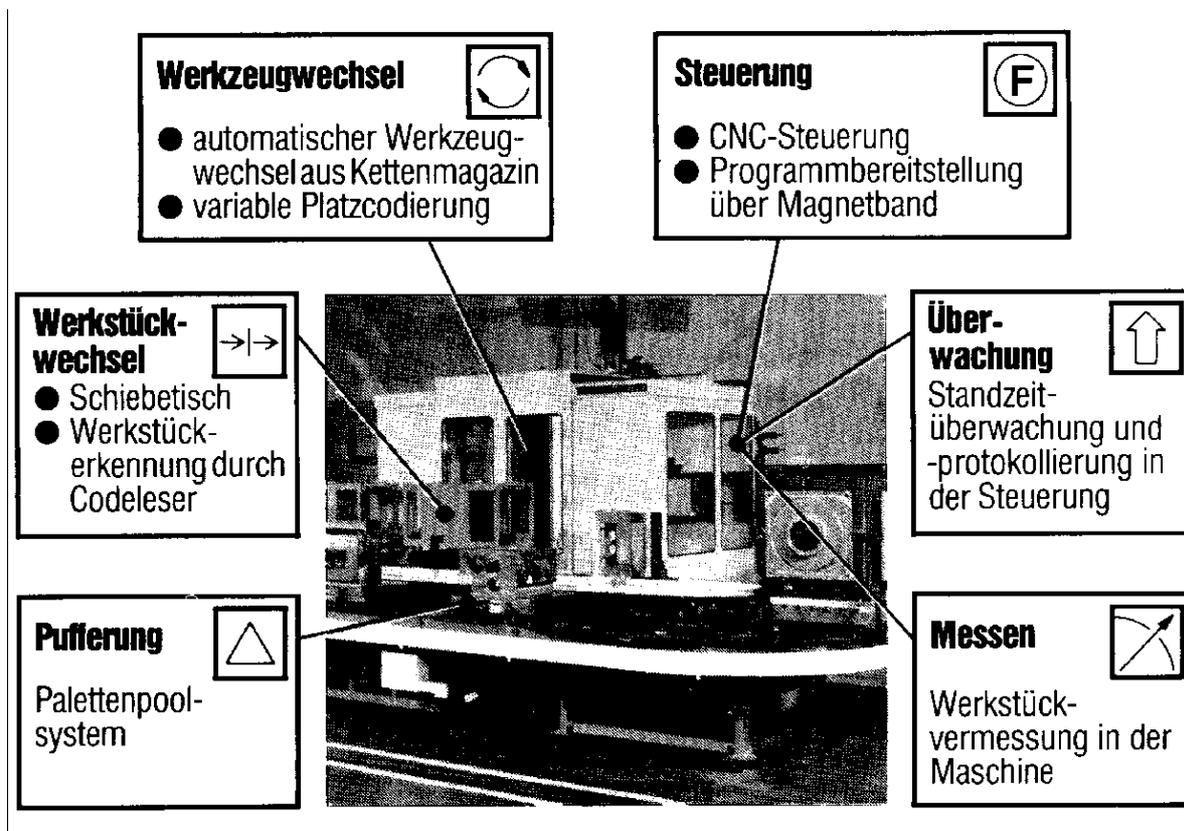


Abb.1.4 : Beispiel einer flexibel automatisierten Fertigungsinsel

2.6 FLEXIBLES FERTIGUNGSSYSTEM

Gegenüber der flexiblen Fertigungszelle bzw. -insel stellt dieses System eine noch umfangreichere Integrationsstufe bzw. eine höhere Automatisierungsstufe dar.

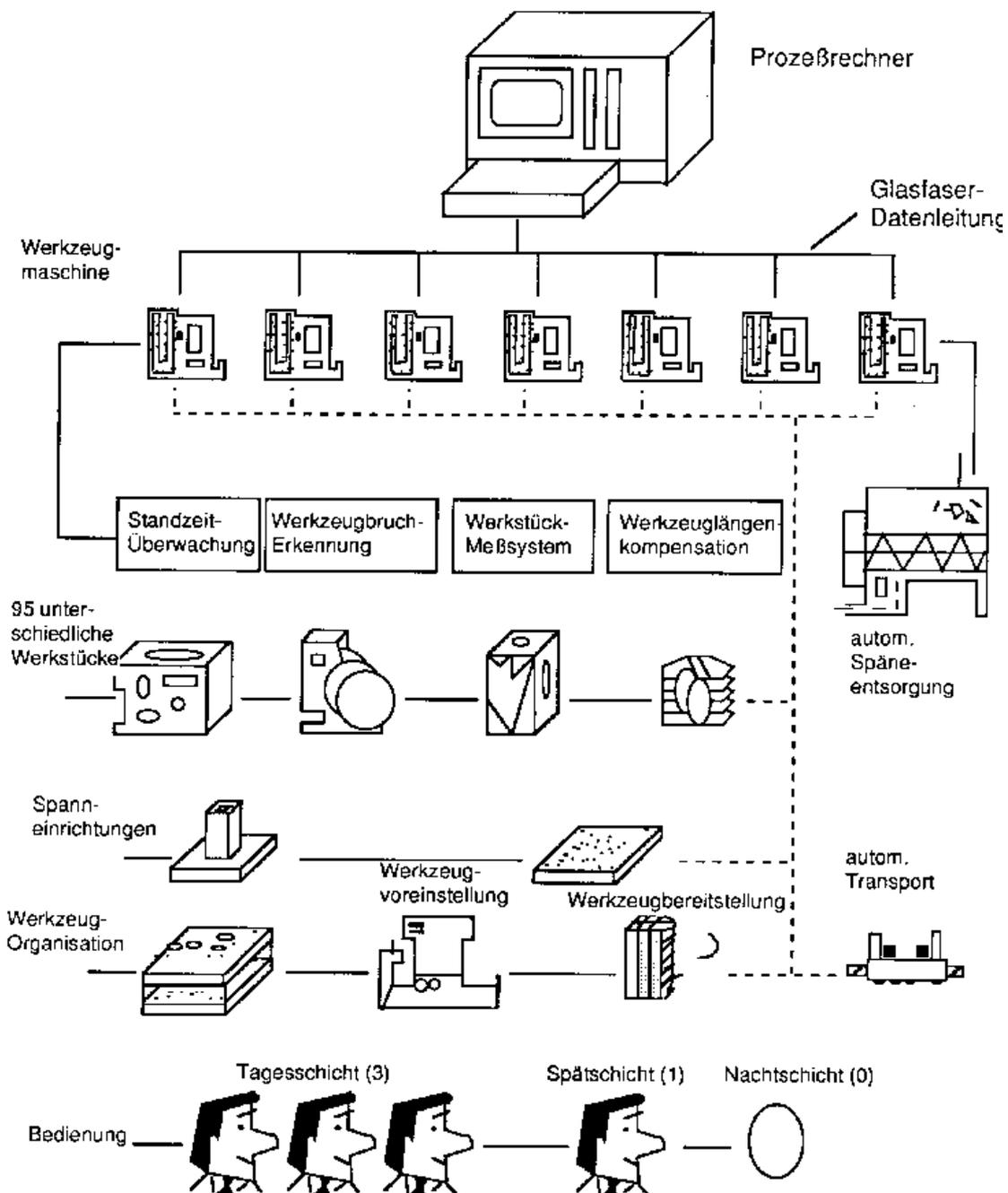
Kennzeichnend für die flexiblen Fertigungssysteme ist ihre Flexibilität hinsichtlich der Bearbeitung unterschiedlicher Werkstücke auf sich ergänzenden Maschinen. Dies in einer Folge, die nicht durch Rüstvorgänge unterbrochen ist. Hierzu gehört die systemgerechte Verkettung. Die sachliche, zeitliche und örtliche Planung der Abläufe wird in einer dem System überlagerten Fertigungsvorbereitung, bestehend aus Fertigungsplanung und Fertigungssteuerung, durchgeführt. Der Flexibilitätsgrad ermöglicht die Ausführung unterschiedlicher Bearbeitungsfolgen an unterschiedlichen Werkstücken in wahlfreier Folge und bei verschiedenen Losgrößen.

Gegenüberstellung: Flexible Fertigungszelle - Flexibles Fertigungssystem - Flexible Transferstraße

Flexible Fertigungszelle	Flexibles Fertigungssystem	Flexible Transferstraße
Einzelmaschinen ohne Verkettung	Außenverkettung	Innenverkettung
Einstufige Bearbeitung	Einstufige und/oder mehrstufige Bearbeitung	Mehrstufige Bearbeitung
Maschinenbeschickung Werkzeugmaschinen mit einem Pufferplatz Werkzeugmaschinen mit Werkstückspeicher	Transport ungetaktet Materialfluß automatisiert	Transport getaktet Materialfluß gerichtet
Werkzeugwechsel automatisiert	Kein manuelles Rüsten für 'begrenztes' Teilespektrum	Begrenzte Anpassungsmöglichkeit der Fertigungseinrichtung an verschiedene Fertigungsaufgaben bei relativ kurzen Rüstzeiten

Abb. 1.5 : Gegenüberstellung

Bearbeitungsablauf in einem flexiblen Fertigungssystem



Vom rohen Gußteil bis zum fertigen Bauteil läuft die Bearbeitung automatisch ab. Ohne Einrichtung des flexiblen Fertigungssystems betrüge der Maschinennutzungsgrad nur 55%, jetzt sind es 75%. Im 2-Schicht-Betrieb waren früher jeweils fünf Maschinenbediener erforderlich; heute sind es im 3-Schicht-Betrieb insgesamt nur vier.

Abb1.6 : Bearbeitungsablauf in einem flexiblen Fertigungssystem

3. WIRTSCHAFTLICHER EINSATZ VON NC-WERKZEUGMASCHINEN

Aufgrund der laufend zunehmenden Bedeutung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in fast allen Produktionsbereichen finden diese auch bei Investitionsentscheidungen in steigendem Maße Berücksichtigung.

Dabei ist es notwendig, für jeden Betrieb individuell zu überprüfen, ob

- a) die technischen,
- b) die wirtschaftlichen und
- c) die personellen Voraussetzungen

gegeben sind.

Die Überprüfung der technischen Voraussetzungen bedingt, daß bekannt ist, für welche Produkte und Arbeitsgänge - unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung des Fertigungsprogramms der Firma - die neu zu beschaffende Maschine eingesetzt werden soll.

Aus den zu fertigenden Produkten und Produktgruppen lassen sich anschließend mit ausreichender Sicherheit die Anforderungen an die zu beschaffenden Maschinen festlegen, um die Angebote der Werkzeugmaschinenhersteller für den speziellen Bedarfsfall zu vergleichen.

Die Beurteilung der Angebote sollte unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte erfolgen:

1. Maschine

Bauart, Arbeitsbereich, Bedienbarkeit, Späneschutz, Späneabfuhr, Kühlmittleinrichtung, Beschickbarkeit, Starrheit, Genauigkeit, Wiederholgenauigkeit, Einfahrtoleranz, Umkehrspanne.

2. Hauptantrieb

Leistung, Drehzahlbereich, Stufung, Leistungsverhalten bei unterschiedlichen Drehzahlen, Bereichüberdeckung.

3. Vorschubantrieb

Größe und kleinste Vorschubgeschwindigkeit, gestuft oder stufenlos, Leistung, Eilganggeschwindigkeit.

4. Werkzeugsysteme

Anzahl der Werkzeugaufnahmen, Werkzeugwechselzeit, Starrheit der Werkzeugaufnahme, Universalität des Werkzeugsystems, Genauigkeit des Werkzeugwechsels.

5. Steuerung

Art und Leistungsumfang der Steuerung, Möglichkeit der Dateneingaben, Editierung, Eingabefeinheit, Korrekturmöglichkeiten, Drehzahl- und Vorschubgeschwindigkeitsbeeinflussung, Programmformat, graphische Unterstützung, Geometrieprozessor.

Neben der technischen Eignung ist die Wirtschaftlichkeit einer Werkzeugmaschine für eine Investitionsentscheidung von ausschlaggebender Bedeutung.

Um zu überprüfen, ob sich NC-Maschine in der Produktion wirtschaftlicher einsetzen lassen als z.B. manuell gesteuerte, müssen die direkten und indirekten Argumente für bzw. gegen den Einsatz solcher Maschinen gegenübergestellt werden.

Für den wirtschaftlichen Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen sprechen die folgenden direkten Argumente:

3.1 Vor- und Nachteile NC-gesteuerter Fertigung

Einsparung der Rüstzeiten durch:

weniger und einfachere Spannvorrichtungen; Verwendung von Aufspannplänen; evt. voreingestellte Werkzeuge

erprobte Bearbeitungsprogramme, die oftmals nur noch optimiert werden müssen.

Verkürzung der Nebenzeiten durch:

selteneres Umspannen der Werkstücke;

schnelles Positionieren der Werkzeuge mit hohen Eilganggeschwindigkeiten;

schnellen Werkzeugwechsel beim Einsatz von automatischen Werkzeugwechselsystemen;

Verringerung der Zwischenmessungen;

Verringerung der Hauptzeiten durch:

optimale Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten in jedem Bearbeitungsschritt;

geringerer Kontrollaufwand und weniger Ausschuß aufgrund der hohen Wiederholgenauigkeit von NC-gesteuerten Maschinen.

Neben den bisher beschriebenen direkten Argumenten für den Einsatz von NC-Maschinen spielen die indirekten bei der Beurteilung des Maschineneinsatzes eine wesentliche Rolle.

Diese Vorteile wirken sich besonders aus, wenn:

- hohe Fertigungsqualität verlangt wird;
- komplizierte Werkstücke erstellt werden sollen;
- kurze Durchlaufzeiten aufgrund von Lieferterminen erforderlich werden;
- Programme an Konstruktionsänderungen mehrmals angepaßt werden müssen, d.h. ähnliche Werkstücke mit nur leichten Änderungen gefertigt werden sollen;
- die Materialbevorratung verringert und dadurch das Umlaufvermögen gesenkt werden soll (aufgrund der NCSteuerung können öfter kleinere Serien aufgelegt werden bzw. kann kommissionsweise gefertigt werden);
- hohe Flexibilitätsanforderungen an die Produktion gestellt werden.

Der Einsatz numerisch gesteuerter Maschinen birgt aber nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile:

- hohe Maschinenstundensätze aufgrund hoher Investitionen für die NC-Maschinen;
- zusätzliche Kosten werden durch die Programmerstellung verursacht;
- höhere Instandhaltungskosten durch den komplexeren Aufbau der NC-Maschinen und den Einsatz von hochspezialisiertem Instandhaltungspersonal.

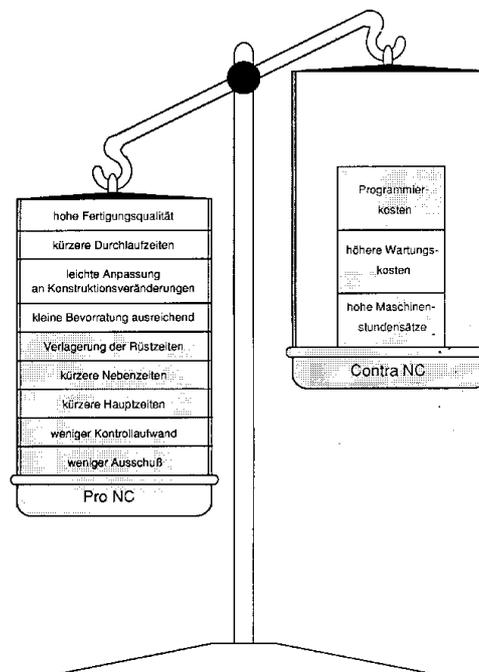


Abb. 1.7 : Vor- und Nachteile NC – gesteuerter Maschinen

Trotz der zuvor genannten Argumente für bzw. gegen den Einsatz NC-gesteuerter Maschinen, läßt sich eine eindeutige Aussage darüber, ob die Anwendung für den einzelnen Fall wirtschaftlich ist oder nicht, nur nach einem Verfahrensvergleich machen.

In diesem Vergleich sind die genannten direkten Argumente zwar nicht zu 'berechnen' trotzdem müssen sie bei einer objektiven Beurteilung mit berücksichtigt werden.

3.2 Der kalkulatorische Verfahrensvergleich:

Zur Durchführung eines Kostenvergleichs werden die folgenden drei Kostenarten benötigt:

die Kosten für die Programmerstellung,

die insgesamt nur einmal vorkommen: Vorbereitungskosten KVO.

die Rüstkosten an der Maschine,

die bei jedem Fertigungsauftrag einmal entstehen: Auftragswiederholungskosten KAW.

die Lohnkosten des Maschinenbedieners,

die mit der Anzahl der gefertigten Werkstücke steigen und für jedes einzelne Werkstück entstehen,: Einzelkosten (Ausführungskosten) K.

Detailliert stellen sich die drei Kostengruppen wie folgt dar:

Ausführungskosten	Austragswiederholungskosten	Vorbereitungskosten
Fertigungslohnkosten mit Lohngemeinkosten (Restgemeinkosten)	Kosten für Auftragserteilung	Fertigungsplankosten
Maschinenkosten mit Abschreibung	Terminsteuerungskosten	Kosten der Arbeitsvorbereitung insbesondere:
Verzinsung	Rüstkosten außerhalb der Maschine	Kosten für Programmieren Erstellen und Erproben des Lochbandes
Instandhaltung	Rüstkosten an der Maschine	Kosten für Konstruieren Herstellen und Erproben von Vorrichtungen Schablonen usw.
Raumkosten		
Energiekosten		
Kosten für Hilfsstoffe		
Werkzeugkosten		
Folgekosten mit Kontrollkosten		
Ausschußkosten		
Nacharbeitskosten		

Abb.1.8 : Kostengruppen und ihre Bestandteile

Die Kostengruppe KE entsteht aus den Fertigungskosten/Std. bezogen auf die in einer Stunde gefertigten Werkstücke.

3.3 Ermittlung der Fertigungskosten pro Stunde :

Die Ermittlung der Fertigungskosten/h kann entweder mit Hilfe des vereinfachten Formulares nach dem VDMA-Kompaß erfolgen, oder bei der Kostenrechnungsstelle des Betriebes erfragt werden, da sich diese Kosten nur auf die Maschine beziehen und unabhängig von der Art der gefertigten Werkstücke sind.

	Maschine 1	Maschine 2
Neuwert der Anlage	335.000,-	55.000
: 10000	: 10000	: 10000
	= 33,5	= 5,5
x 1,70 DM	x 1,7	x 1,7
	= 56,95	= 9,35
+ Lohnkosten (Stundenlohn * 1,8)	+ 40,50	+ 40,50
+ 13,- DM (Restgemeinkosten p. Stunde)	+ 13,-	+ 13
Fertigungskosten pro Stunde	143,95	= 59,-

(Die angegebenen Werte stellen Erfahrungswerte dar, die jederzeit durch eigene Zahlen ersetzt werden können)

Nach der Ermittlung des Maschinenstundensatzes lassen sich mit Hilfe der Kostenvergleichsrechnung die Werkstückkosten errechnen :

	Maschine 1	Maschine 2	Maschine 3
1. Fertigungskosten je Stunde	143,95 DM	59,- DM	
2. / Werkstücke je Stunde	: 20	: 4	
3. Einzelkosten KE	= 7,20 DM	= 14,75 DM	
4. Rüstzeit an der Maschine (Std)	0,75	0,5	
5. x Fertigungskosten je Stunde	* 143,95 DM	* 59,- DM	
6. Rüstkosten	108,- DM	29,90 DM	
7. + Werkzeugvoreinstellung	+ 14 DM		
8. Auftragswiederholkosten KAW	= 122,- DM	= 29,90 DM	
9. Losgröße L	: 30	: 30	
10. KAW / L	= 4,07 DM	= 0,99 DM	
11. Kosten für Schablonen etc.	100,- DM	100,- DM	
12. + Programmierkosten (4,- DM * Anzahl der Sätze)	+ 120,- DM		
13. + Werkzeugkosten	+ 100,- DM	+ 80,- DM	
14. Vorbereitungskosten KVO	= 320,- DM	= 180,- DM	
15. Gesamtstückzahl A * L (A = Anzahl der Aufträge)	: 120	: 120	
16. KVO / (A*L)	2,66 DM	1,50 DM	
Stückkosten K = 3. + 10. + 16.	13,93 DM	17,25 DM	

Trägt man die errechneten Werte in ein Diagramm ein, in dem die Stückkosten über der Losgröße aufgetragen sind, entstehen die beiden folgenden Kurven. Man kann nun für eine beliebige Losgröße ablesen, welche Maschinenart die wirtschaftlichere ist.

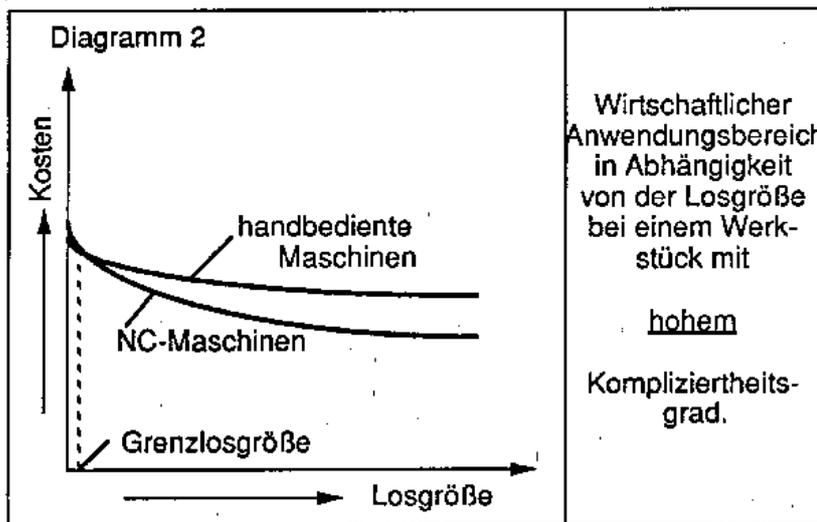
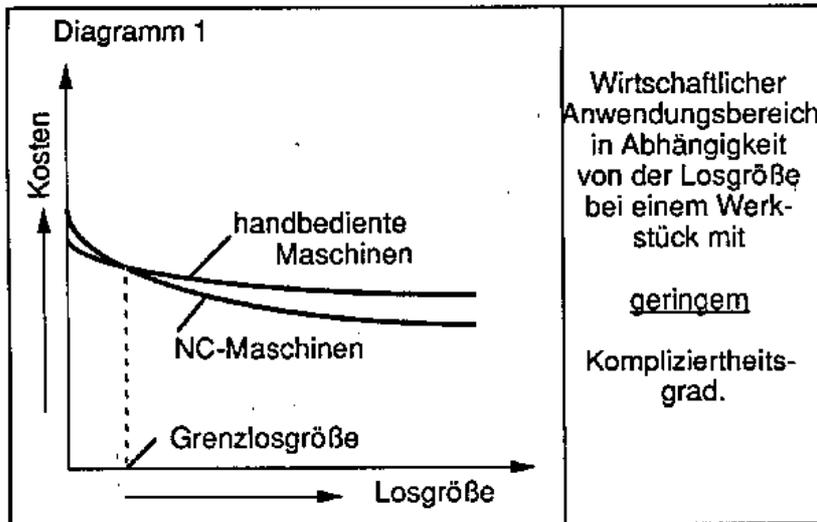


Abb. 1.9 : Wirtschaftlicher Einsatz von Werkzeugmaschinen

3.4 Aufgaben zur Wiederholung und Vertiefung

1. Erläutern Sie die folgenden Begriffe :

NC _____

CNC _____

DNC _____

2. Nennen Sie je zwei Vor- und Nachteile der CNC-Technik gegenüber der herkömmlichen Bearbeitungstechnik !

3. Welche Folgen hat die Einführung der CNC-Technik auf das Berufsbild eines Zerspanungsmechanikers ?

4. Erläutern Sie den Aufbau einer flexiblen Fertigungszelle !

5. Unterscheiden Sie zwischen einer flexiblen Fertigungszelle und einem flexiblen Fertigungssystem

6. Ermitteln Sie die Fertigungskosten pro Stunde (Maschinenstundensatz) für zwei Maschine mit den folgenden Daten :

- ◆ Neuwert : Maschine A : 400.000,- DM Maschine B : 120.000,- DM
- ◆ Stundenlohn : 22,40 DM
- ◆ Restgemeinkosten pro Stunde : 17,- DM

7. Erstellen Sie eine Kostenvergleichsrechnung für die Maschinen aus Aufgabe 6. (Möglichst mit einem Tabellenkalkulationsprogramm) Berücksichtigen Sie dabei die folgenden Daten :

Maschine A	Maschine B
12 Werkstücke pro Stunde	3 Werkstücke pro Stunde
Rüstzeit : 1 Stunde	Rüstzeit : ½ Stunde
Werkzeuvoreinstellungen : 15,-	Werkzeuvoreinstellungen 0 DM
Losgröße : 50	Losgröße : 50
Kosten für Schablonen usw. : 200,- DM	Kosten für Schablonen usw. : 200,- DM
Programmierkosten : 180,- DM	Programmierkosten 0,00 DM
Werkzeugkosten : 100,- DM	Werkzeugkosten : 100,- DM

4. INFORMATIONSFLUSS IN EINER CNC-STEUERUNG

Der 'Informationsfluß' in einer CNC-Steuerung sei an Hand des Bildes 'Datenverarbeitung bei einer CNC-Steuerung' erläutert:

Datenverarbeitung bei einer CNC - Steuerung

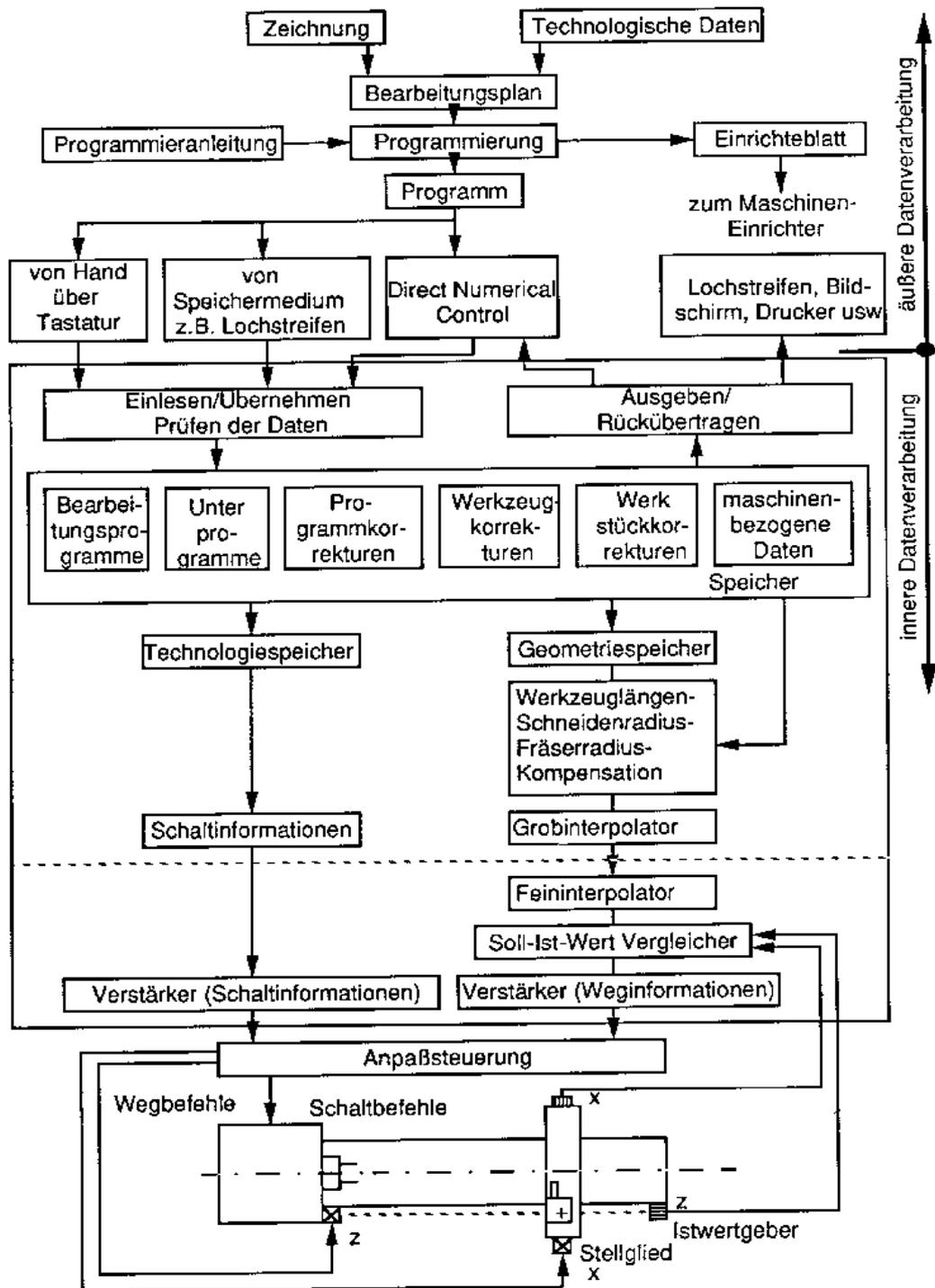


Abb.1.10 : Datenverarbeitung bei einer CNC Steuerung

Man unterscheidet zwischen 'äußerer' und 'innerer' Datenverarbeitung.

Bei der äußeren DV wird vom Programmierer nach der Werkstückzeichnung und den technologischen Daten, wie Werkstoff, Werkzeuge, Spannart, Schnittwerte und Maschinenwerte, zunächst ein Bearbeitungsplan angefertigt. An Hand dieses Planes werden dann unter Beachtung der Programmieranleitung das NC-Bearbeitungsprogramm (Teileprogramm) und das Einrichteblatt erstellt.

Das Einrichteblatt erhält der Maschineneinrichter. Es enthält Angaben zur Aufspannung des Werkstückes für die gewählte Werkzeugmaschine, die Lage der verschiedenen Bezugspunkte zum Maschinennullpunkt bzw. Referenzpunkt wie Werkstücknullpunkt, Startpunkt, Werkzeugwechselpunkt die zu benutzenden Werkzeuge und deren Positionierung, Angaben über Drehzahlbereiche, Kühlmittel usw..

Das NC-Bearbeitungsprogramm wird in die CNC-Steuerung der Werkzeugmaschine eingelesen

off-line, z.B. von Hand über die Maschinentastatur oder über einen Lochstreifenleser.

on-line, z.B. von einem Fertigungsleitreechner oder von einem externen Programmierplatz aus.

Die äußere DV umfaßt also alle Tätigkeiten der Programmerstellung einschließlich der Eingabe in die CNC-Steuerung.

An dieser Stelle sei auf die Wichtigkeit der Archivierung des NC-Programmes (z.B. auf einem Programmblatt/Lochstreifen oder auf Magnetband bzw. Platte) und des Einrichteblattes hingewiesen. Auf Grund der archivierten Daten kann jederzeit der dem Programm zugrunde liegende Rüstzustand für eine spätere Fertigung rekonstruiert werden.

Zur inneren DV zählt man alle Vorgänge in der CNC-Steuerung und in der Maschine nach der Eingabe des Programms bis zum fertigen Werkstück: Die durch das NC-Programm eingegebenen Informationen sowie u.a. die Korrekturen werden in der Steuerung decodiert und abgespeichert. Die Abarbeitung erfolgt getrennt nach geometrischen und technologischen Daten.

Geometrische Daten sind alle Angaben über die zu verfahrenen Werkzeugwege, wie Wegbedingungen (z.B. Kreisbogen) und Koordinatenangaben, aus denen schließlich die gewünschte Kontur des Werkstückes entsteht.

Die Geometriedaten müssen vor der Ausgabe auf die angeschlossene Werkzeugmaschine auf die aktuelle Werkstück - Werkzeug - Konfiguration zugeschnitten werden, da das NC-Programm selbst unabhängig von der Maschine und den eingesetzten Werkzeugen sein soll. Die Korrekturberechnungen beziehen sich sowohl auf eine notwendig werdende Koordinatentransformation, z.B. die Lage bzw. Verschiebung des Werkstück-Nullpunktes zum Maschinen-Nullpunkt, als auch auf die unterschiedlichen Werkzeuglängen und Werkzeuggradien.

Ein Interpolator wird erforderlich, wenn nicht nur achsparallel verfahren werden soll. Der so ermittelte Geometriewert wird als Führungsgröße (Wegbefehl) über die Anpaßsteuerung an den Vorschub-Lageregelkreis der Werkzeugmaschine weitergegeben.

Technologische Informationen sind die Schaltfunktionen, z.B. für die Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit, Vorschub/Vorschubgeschwindigkeit, Werkzeugwechsel, Kühlmittel-Ein-Aus, Spindel - Rechts / Linkslauf usw..

Die Schaltfunktionen gelangen über einen Verstärker an die Anpaßsteuerung der Werkzeugmaschine, wo sie dann mit den von der Werkzeugmaschine kommenden Rückmeldungen verknüpft und in Steuerbefehle für die zu schaltenden Aggregate umgesetzt werden. Diese Verknüpfungen bestehen zum großen Teil aus Verriegelungs- bzw. Sicherheitsschaltungen, damit widersprüchliche und den Maschinenbediener sowie die Maschine gefährdende Funktionen nicht ausgelöst werden können (z.B. Einschalten des Vorschubes bevor die Spindel läuft).