



Echtzeitsysteme

Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Kuhnert

Literaturempfehlungen

1. Erik Jacobson

Einführung in die Prozessdatenverarbeitung

Carl Hanser-Verlag (1996)

ISBN 3446185682

1. Einführung: Automatisierung durch die PV
2. Begriffe aus der PV
3. Prozessmodelle
4. Ein einfaches Beispiel, das Parkhaus
5. Praktische Anforderungen an die PV
6. Prozessrechner-Hardware: Rechnerkonfiguration
7. Die Zentraleinheit
8. Die CP
9. Der Bus
10. Der Arbeitsspeicher
11. Geräteanschlüsse
12. Betriebsarten
13. Periphere Geräte: Standardperipherie
14. Prozessperipherie
15. Prozessrechnereinsatz
16. Prozessrechner-Software: Strukturierung
17. Prozessrechner-Betriebssysteme
18. Realzeit-Programmiersprachen
19. Ausblicke

2. Rembold / Levi

Realzeitsysteme zur Prozessdatenverarbeitung

Carl Hanser-Verlag (1996)

ISBN 3446185682

1 Allgemeines

1.1 Lehrinhalte

Im Rahmen der Vorlesung *Prozessdatenverarbeitung* werden anfangs die Grundlagen der Realzeitprogrammierung gelegt. Anschließend werden der Entwurf und die Anwendungsentwicklung eines autonom mobilen Systems am Beispiel eines mobilen Roboters, der eine Anzahl einfacher Sensoren besitzt, vertieft und eingeübt. ~~Es wird die Fähigkeit vermittelt, hardware-spezifische Treiber zu erstellen und in Realzeitbetriebssysteme einzubetten.~~ Die Grundlagen der Subsumption-Architektur werden erarbeitet und anhand von Experimenten (Seminar und Praktikum) einigen kombinierten Verhaltensmuster vorgestellt.

Veranstaltung

4 Semesterwochenstunden Vorlesung
2 Semesterwochenstunden Seminar
2 Semesterwochenstunden Praktikum

C Programmierung

Inhalte WS 00/01 und SS 01

- Allgemeines, Begriffe der PDV; Ziele, Automatisierung
- Struktur eines PDV-Systems
- geschichtliche Entwicklung
- Hardware für PDV
- Klassifikation von Prozesstypen
- von Neumann-Maschine
- CPU-Erweiterungen
- Aufbau von Maschineninstruktionen
- Bus
- Arbeitsspeicher, Organisation, Realisation
- Bus-Interfaces
- C
- Mobile Roboter

Automatisierung:

Leistungssteigerung durch

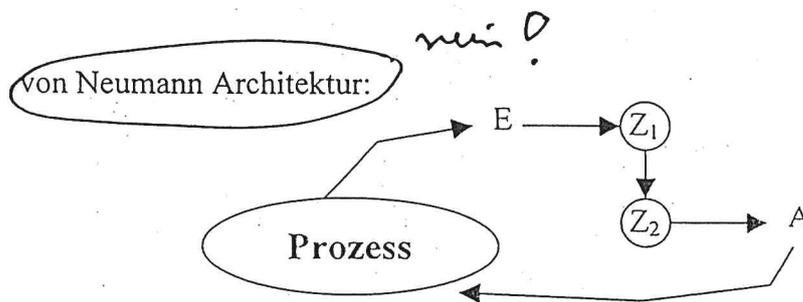
- Geschwindigkeit
- Ausdauer

Automatisierungsgrad

- Prozess (technischer Ablauf, Anlage) für Produkte oder Dienstleistung
- Automatische Steuerung

Automat (DIN 19233)

Ein Automat ist ein künstliches System, das selbständig einem Programm folgt. Auf Grund des Programms trifft das System Entscheidungen, die auf Verknüpfungen des Systems beruhen und Ausgaben zur Folge haben.

**Ziel der Automatisierung:**

- Entlastung des Menschen (Ermüdung, Arbeitsgeschwindigkeit)
- Verminderung der Monotonie, z.B. Untersuchung von sw. und ws. Kugeln (Leistungsabfall!)

Einfache Automaten ohne Flexibilität (NC Maschinen)**Flexible Automaten (CNC Maschine)**

- Freisetzung für anspruchsvollere Tätigkeit
- Verminderung der Anforderung an die Konzentration, z.B. Stanzmaschinen mit unregelmäßigen Anforderungen ⇒ Unfallgefahr
- Vermeidung von Gesundheitsgefährdung: giftige Chemikalien, radioaktive Stoffe, hohe Temperaturen, schnelle mech. Systeme
- Hohe Reaktionsgeschwindigkeit in gefährlichen Prozessen; z.B. spannendes Abdrehen bei hohen Geschwindigkeiten; Erhöhung der Effizienz der Produkte

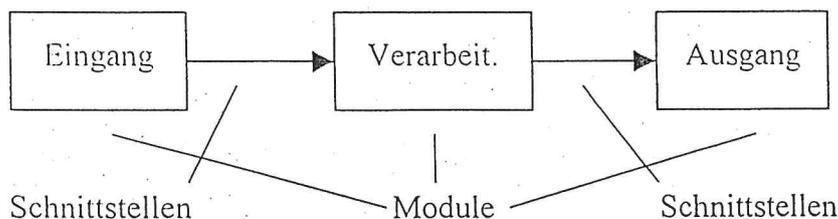
- Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit
- Erhöhung des Datensatzes (Datenflut), z.B. visuelle Kontrolle von Blutkörperchen, Luftbildern
- Erhöhung der Qualität, 100% Qualität in der Automobilindustrie
- Verbesserung der Genauigkeit, z.B. Mikrostellensysteme
- Einhaltung der Betriebsvorschriften, Verbesserung der Sicherheit
- Nutzung von Anlagen im Grenzbereich bzw. nahe gefährlicher Zustände durch höhere Genauigkeit \Rightarrow höhere Effizienz

Grenzen der Automatisierung:

- Vollständigkeit, Umgang mit unvorhergesehenen, seltenen, gefährlichen Situationen: Chemieproduktion, Kernkraftwerke
- Korrektheit, kleiner Fehler \Rightarrow großer Schaden, z.B. ESA Rakete (Punkt / Komma vertauscht)
- Erkennungsfähigkeit, Mustererkennung, z.B. Bilder, Sprache für den Menschen sehr einfach \Rightarrow kostengünstig meist nur mit sehr komplexen Automaten zu realisieren (Grenzen!)
- Kosten

System

- Module
- Schnittstellen
 - physikalisch
 - energetisch
 - informationell



Prozessbegriff:

- System + Zeit



Prozess:

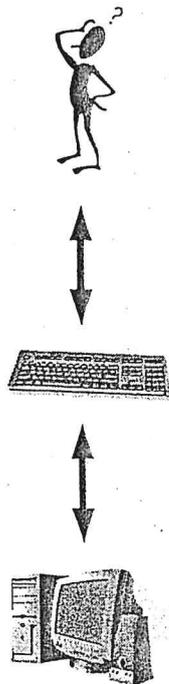
Vorgang zur Umformung, zum Transport, oder zur Speicherung von Materie, Energie oder Informationen.

Ein technischer Prozess ist ein Prozess, dessen Zustandsgrößen mit technischen Mitteln erfasst und beeinflusst (gemessen, gesteuert oder geregelt) werden können. (vgl. DIN 66201)

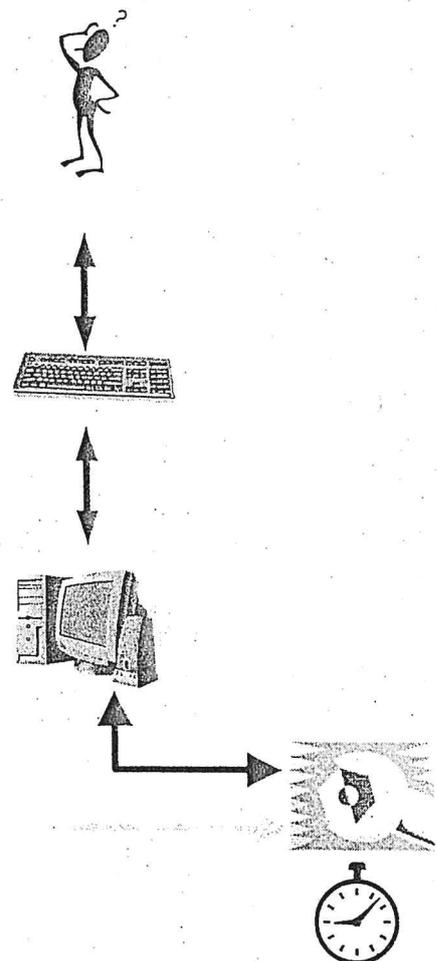
Realzeitbedingungen

- Direkte Kopplung mit der Welt
- Schritthaltende Verarbeitung
- Leistungssteigerung
- Sicherheitssteigerung

EDV
Elektronische Datenverarbeitung
(z.B. Textverarbeitung)

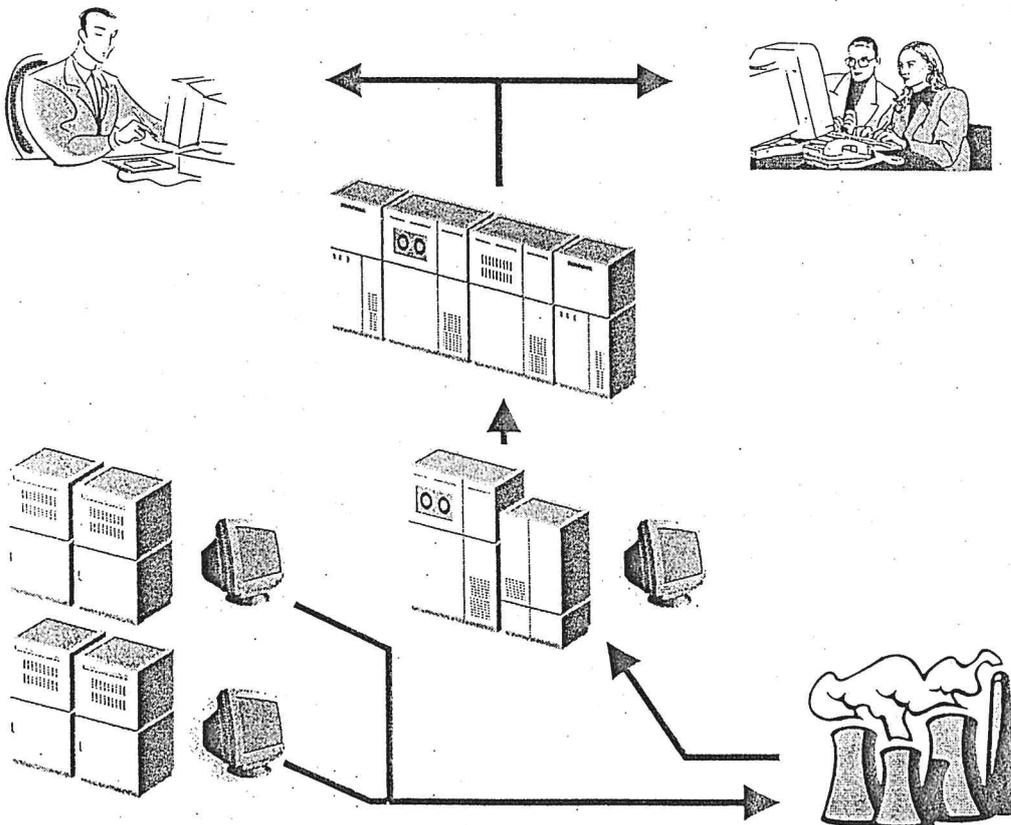


PDV
Prozessdatenverarbeitung
(Bier brauen, Auto fahren)



Anwendung der PDV

- Messdatenerfassung
 - Wetterstation
- Messdatenverwaltung und Organisation
 - Medizinisches Analyselabor, Chargen von Messobjekten
- Messdatenvernetzung
 - Chemische Industrie: verschiedene Produktionsanlagen
- Fertigungsautomatisierung
 - Werkzeugmaschinenherstellung, Optimierung von Rohren, Materialverlust
- Laborautomatisierung
 - Chemisches Messlabor, Säurebestimmung und Zuflussregelung
- Prozessüberwachung und -kontrolle
 - Langandauernde Reifung eines Medikamentes; Überwachung von Zufluss; Reifung; Kühlungswasser ⇒ bei Ausfall sicheren Zustand anfahren
- Autonomes Fahren
- Werkstoffsartierung

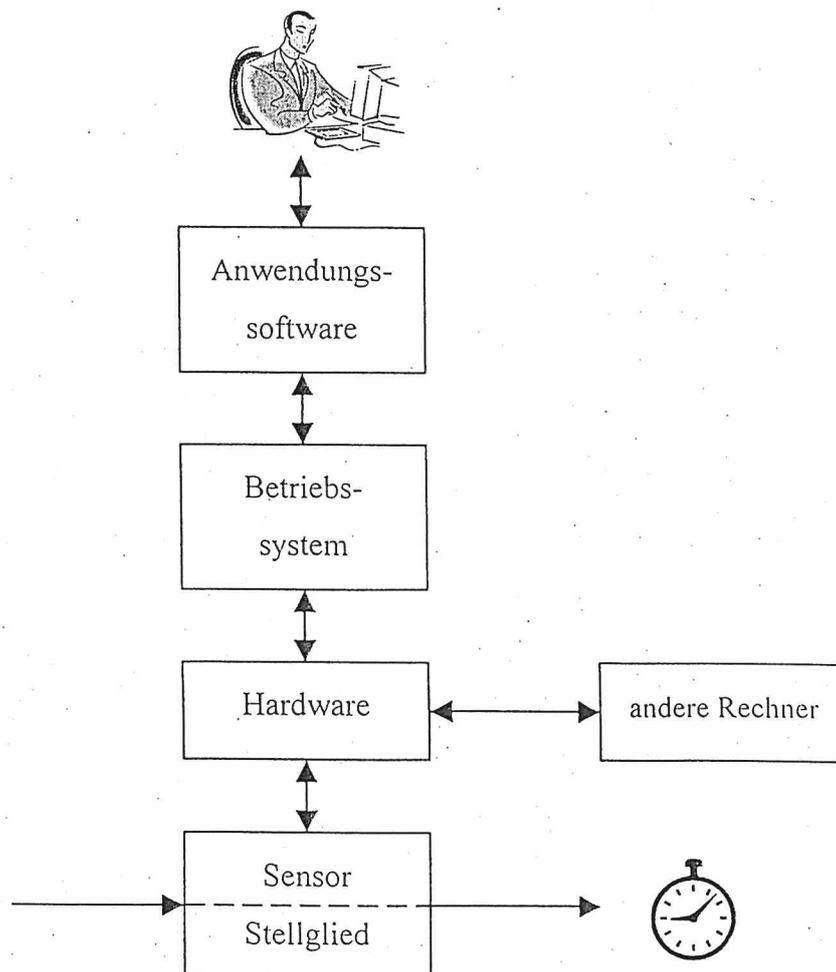


Beschreibung eines Prozesses

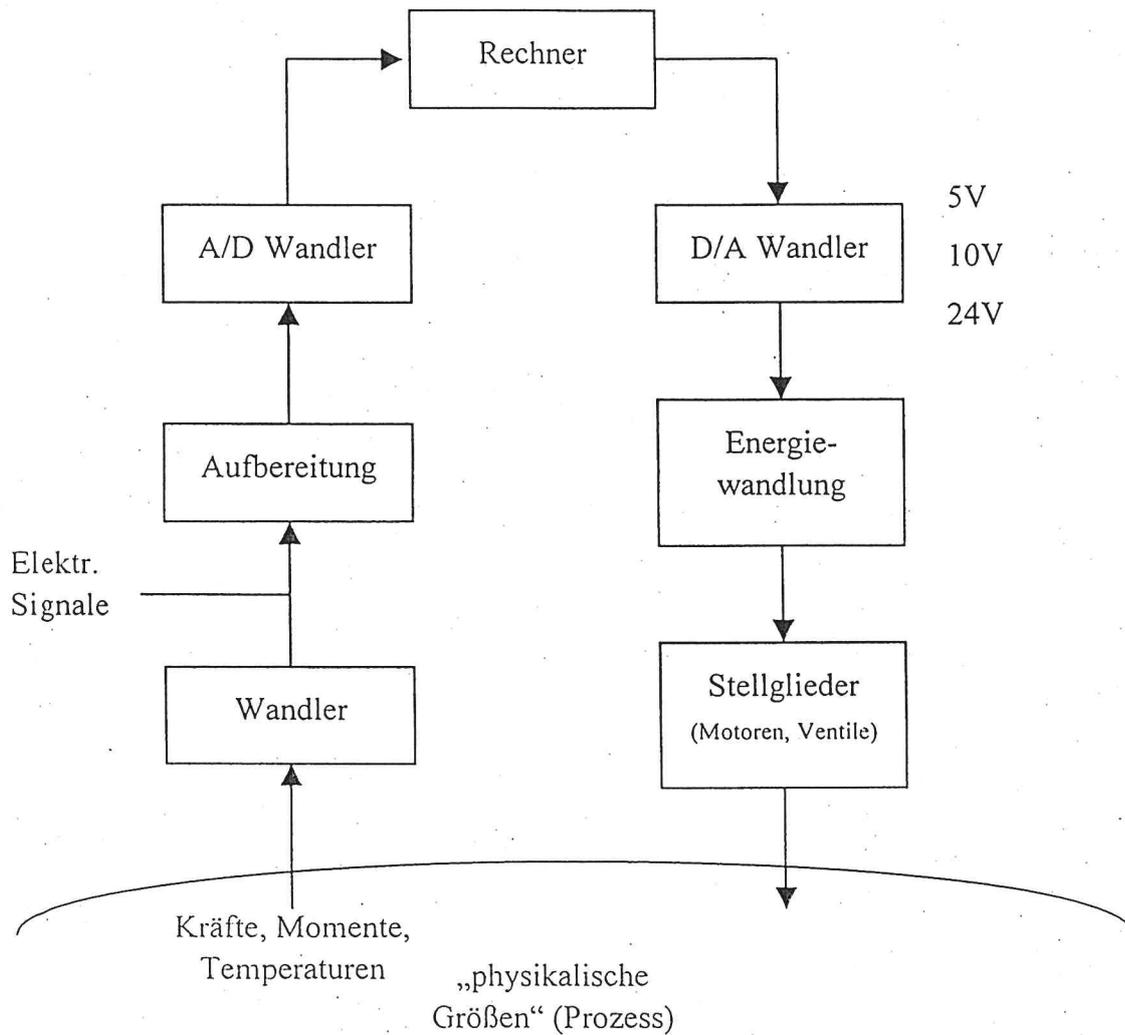
- Prozess (physikalische Größen)
 - Prozesskennwerte, (Spezifikation) Grenzwerte
 - Prozessparameter (aktuelle Einstellung)
 - Prozesszustand (aktueller Zustand)
- Schnittstelle zur Umgebung
 - Eingangsgrößen
 - Stellgrößen
 - Störungen
 - Ausgangsgrößen (Alarmer)

Einige Größen sind schwierig messbar: z.B. Rauigkeit \Rightarrow siehe DIN, z.B. Textur einer Oberfläche (keine einheitliche Messvorschrift (siehe Brodatz))

Hauptkomponenten eines PDV-Systems



Komponenten eines PDV-Systems



Prozessrechner

Typische Eigenschaften

- Prozessperipherie (direkt an den Prozess gekoppelt: DIN 66201)
- Echtzeitorganisation der PDV (Unterbrechung, Speicherschutz, Realzeit-Betriebssystem)
- Frei Programmierbarkeit (siehe Mikrocontroller)
- Kurzwortmaschine (8bit bis 32bit)
- Einzelbitverarbeitung

Geschichtliche Entwicklung der PDV

- 1956 Raffinerieautomatisierung (26 Durchflüsse, 72 Temperatur, 3 Drücke) Port Arthur, Texas; 1959 fertig
- 1962 Chemische Produktion, ICI in England (192 Ventile, 224 Messstellen)
- 60er Jahre Raumfahrt (Mercury, Gemini, Apollo); Verteidigung (Fluglage-regelungssysteme); weite industrielle Verbreitung
- 70er Ära der Minicomputer Digital Equipment, Data General, Hewlett Packard, Texas Instruments, MSI, LSI-Technologie
- 80er Jahre Mikrocomputer Intel, Motorola, Apple, TI, VLSI-Technologie PC, Power-PC, Apple Kim, DSP'S, verteilte Systeme (Erhöhung der Zuverlässigkeit)
- bis heute
 - stetig fallende Hardwarekosten
 - stetig steigende Rechnerleistung
 - stetig steigende Komplexität
 - Verbesserung der Unterstützung (Support) und Hilfsprogramme (Tools)

Prozessrechnerarten

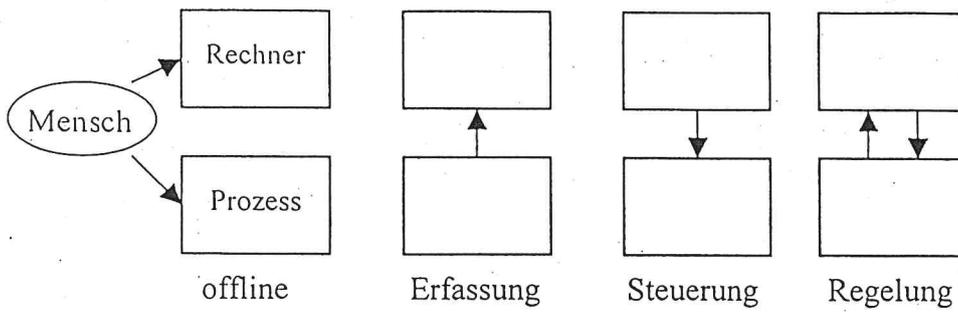
Grobeinteilung

- Mikrocontroller mit E/A auf dem Chip
- Mikrorechner und digitale Signalprozessoren auf einer oder mehreren
- Platinen (Boardlevel Computer) auch PCs und VME Systeme Platinenverbünde (z.B. TRAM oder TIM Module)
- Minicomputer (16bit bis 32bit); Workstation
- Superminicomputer (32bit) und Rechnerverbünde

Ankopplung des Prozessrechners an den Prozess:

Verschiedene Arten der Kopplung

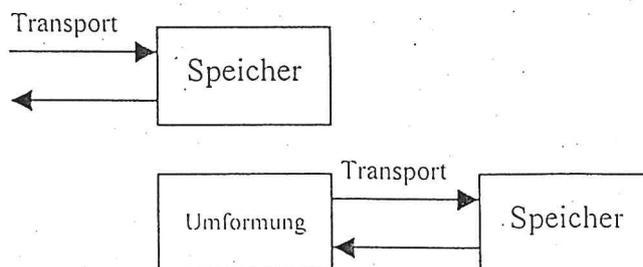
	offline	online	open loop	closed loop
indirekt	X		X	
Erfassung		X	X	
Steuerung		X	X	
Regelung		X		X



Klassifikation von Prozessen

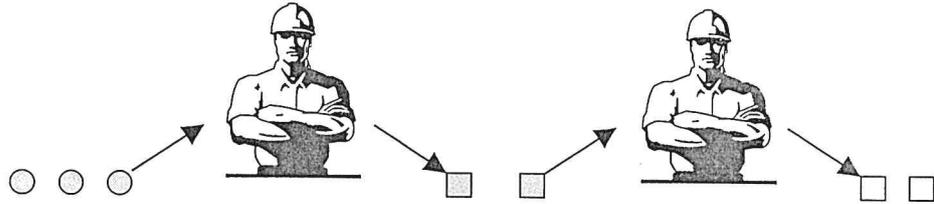
- Nach Verarbeitungsart (was wird gemacht?)
 - Transport
 - Umformung
 - Speicherung
 - ❖ Typische Ketten
- Nach Verarbeitungsgut (was wird bearbeitet?)
 - Materie
 - Fertigung (geometrische Form), Maschinenbau, Optik, Elektrotechnik
 - Verarbeitung; Form allgemein: vorwiegend nicht Metall) Papier, Textil...
 - Verfahrensprozess (Form gleichgültig) chemische Industrie, Metallurgie
 - Energie
 - Information

	Transport	Umformung	Speicherung
Materie	Handhabung, Straße, Schiene	Bearbeitung, Verbindung, Fügen	Lager
Energie	EV, Hochspannungstechnik	Transformation Elektrochemie	Batterie, Stauwerk
Information	Telekommunikation	Rechnertechnik	Speicher

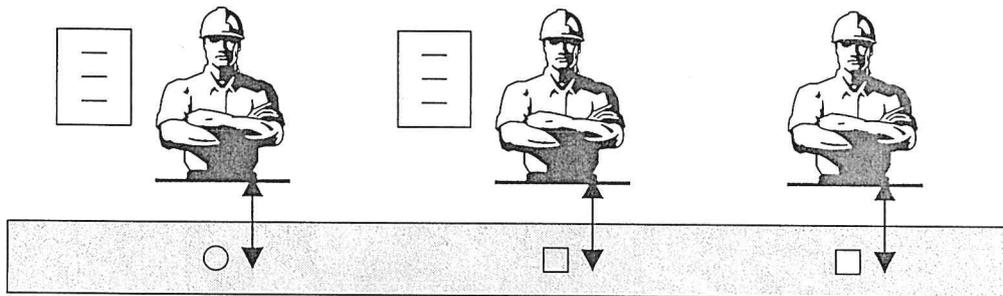


Arbeitsverteilung im Betrieblichenprozess

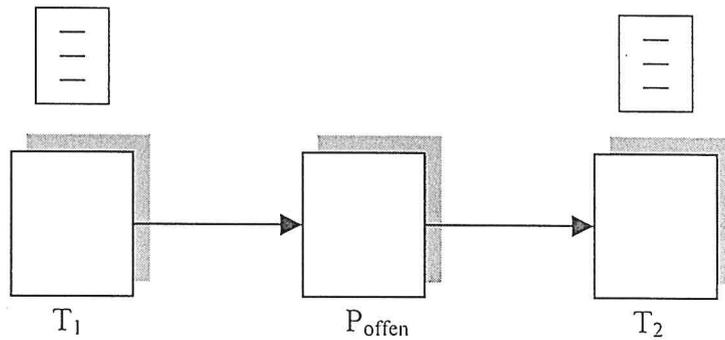
- rein sequentiell



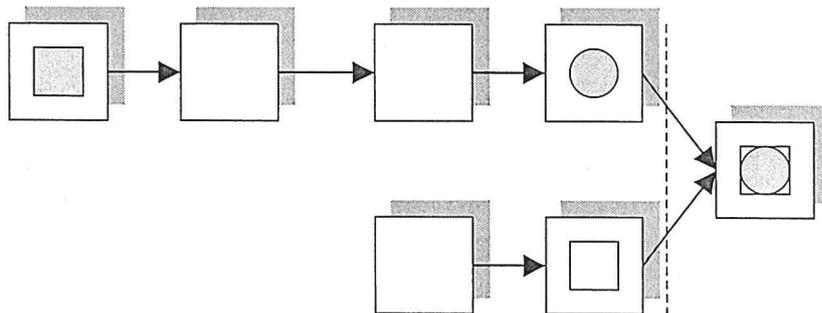
- Fließbandprinzip (Problem: feste Taktzeiten)



- entkoppeltes Fließbandsystem



- Parallelverarbeitung (just in time)



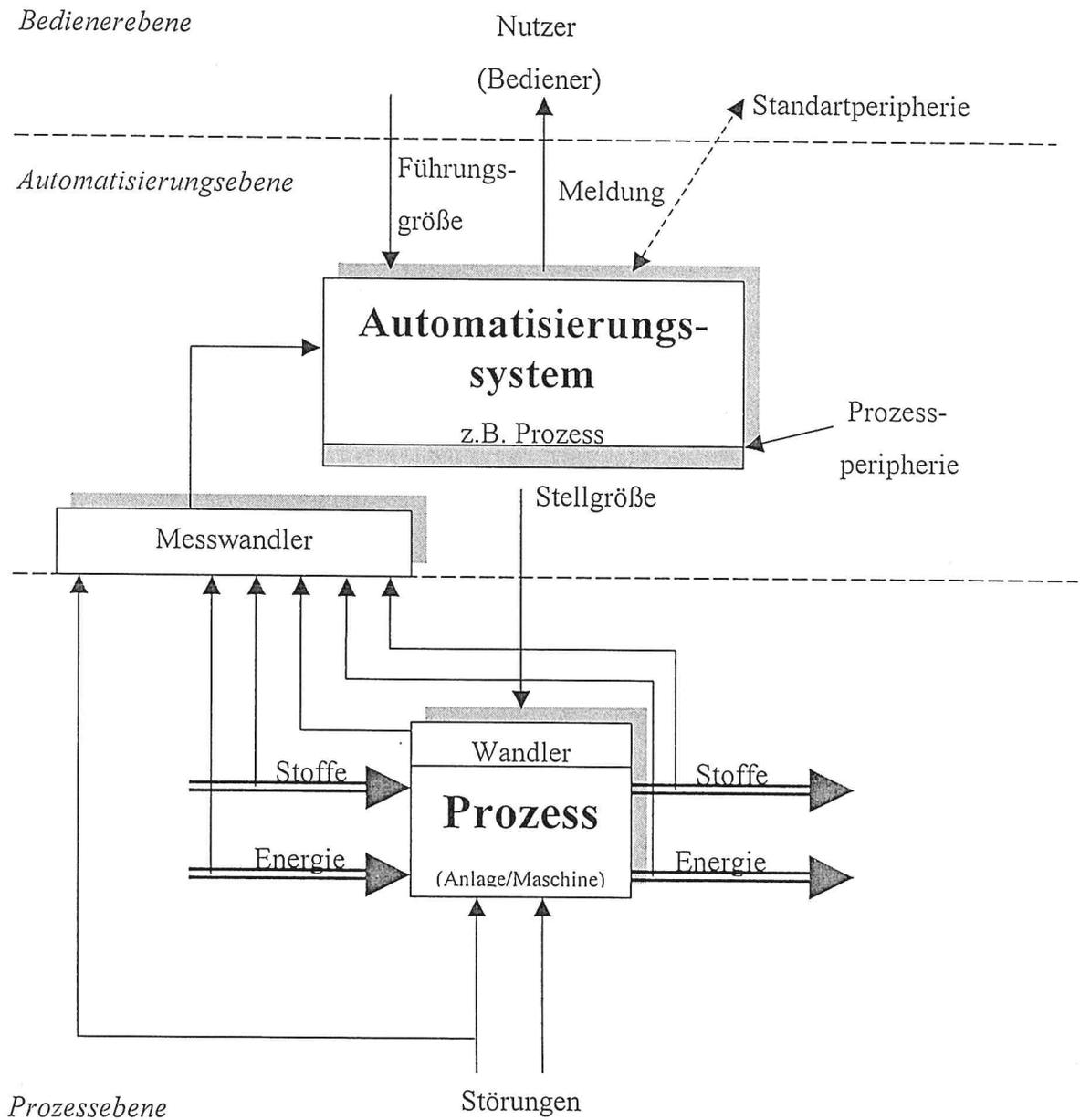
Klassifikation von Prozessen

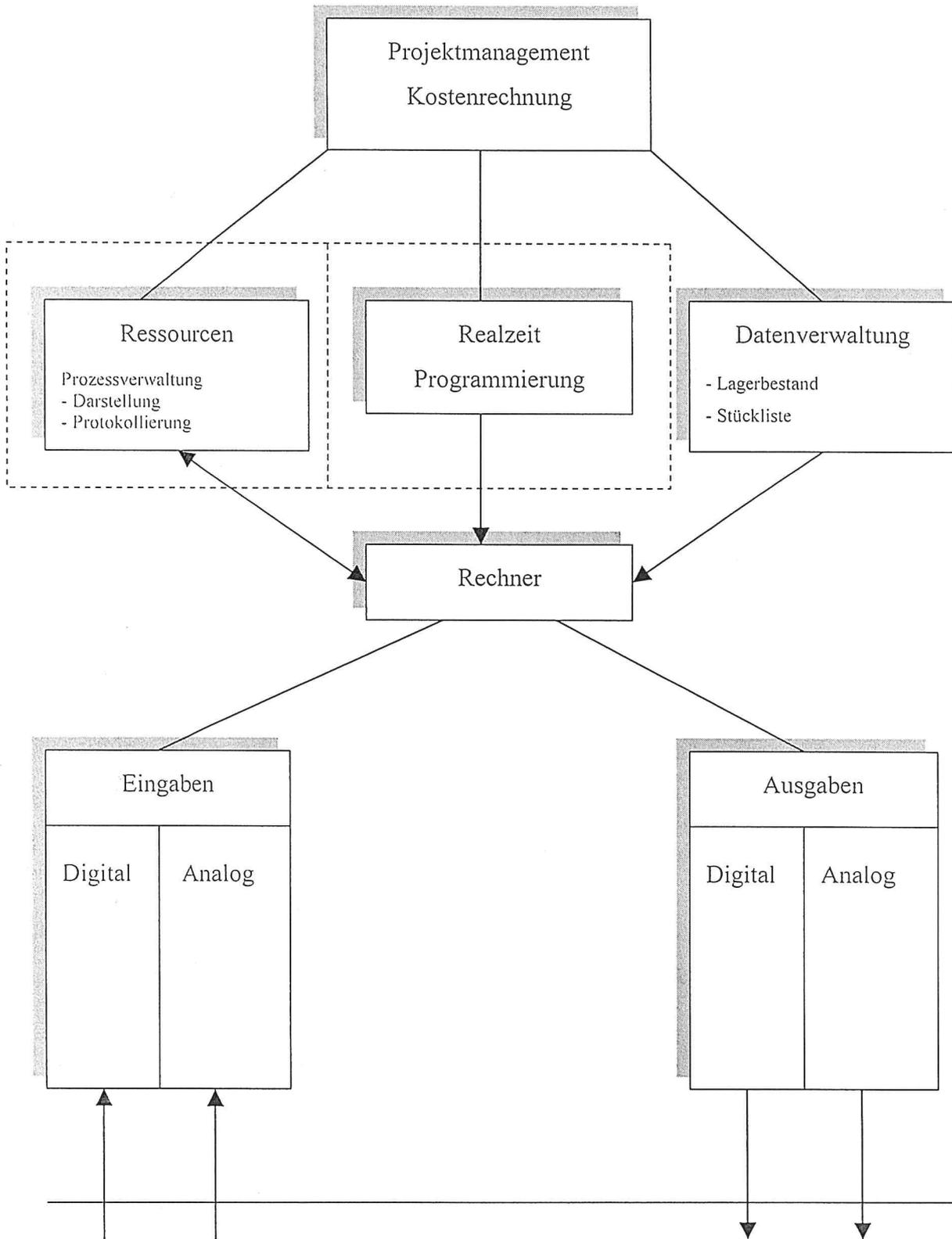
- nach Vorhersehbarkeit
 - deterministischer Prozess (mit bzw. ohne Störgrößen)
 - stochastischer Prozess
- nach Komplexität (Handhabung der Komplexität?)
 - Elementarprozess
(1 Verarbeitungsart & 1 Verarbeitungsgut)
 - Einzelprozess
(kleinste geschlossene Prozesseinheit, die einen kompl. Arbeitsablauf erledigt, z.B. Waschmaschine)
 - Verbundprozess
(umfasst Einzelprozesse, die zusammenarbeiten, um eine gemeinsame Aufgabe zu erledigen ⇒ Fertigungsstraße (z.B. Automobilbau))
 - Betriebsprozess
Umfasst verschiedene Arbeitsbereiche eines Betriebes
- nach zeitlichem Ablauf
 - kontinuierlich (Fließprozess)
 - diskontinuierlich: in Chargen, diskret oder Stückprozess
 - gleichmäßig bzw. ungleichmäßig

wichtige Prozesskennwerte:

- bei Flussprozessen
 - Durchsatz (Menge/Zeit)
 - Gleichmäßigkeit (Schwankung/Varianz)
- Bei Stückprozessen
 - Durchsatz
 - Gleichmäßigkeit (fester/variabler Takt)
 - Taktzeiten
- Bei Chargen
 - Chargengröße
 - Chargentaktzeit

Automatisiertes System





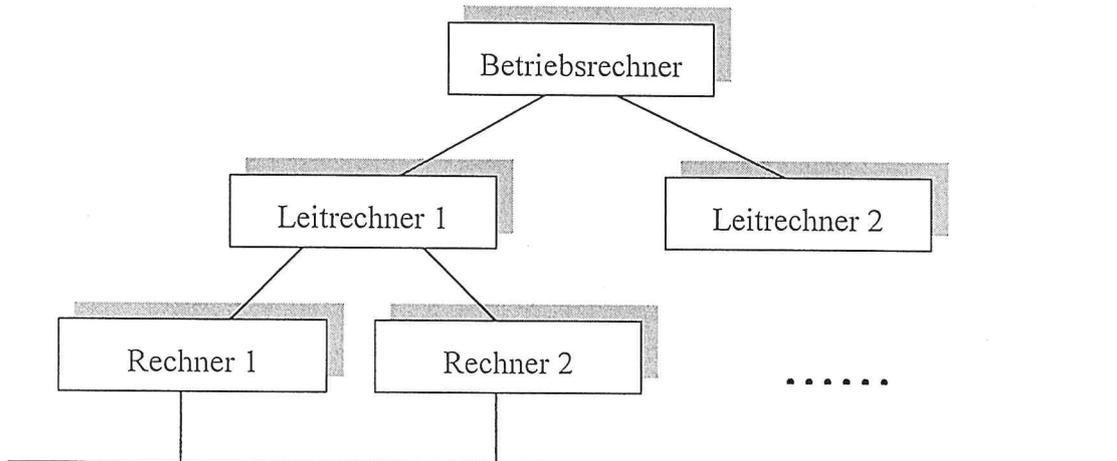
Prozess

⇒ Rechnerverbindung nötig ⇒ Rechnerkommunikation

typische Organisation: Hierarchie

Handhabung der Komplexität durch Hierarchieung

(Vernetzung von Rechnern in der PDV)



- Leistungssteigerung
- Kostensenkung
- Erhöhung der Verfügbarkeit
- Spezialisierung der Rechner ⇒ erlaubte Kostensenkung
- Den passenden Rechner vor Ort

Begriffe zum Prozessrechnerverbund:

- Prozesslenkung
- Rechnernetz (LAN)
- CIM (computer integrated manufacturing)

Modellierung von Prozessen

Modeltypen

- Gegenständliche Modell
 - Verkleinerte Modelle
 - Zeichnungen
- Abstrakte mathematische Modelle
 - Mathematische Gleichungen
 - Numerische Tabellen
 - Flusspläne / Diagramme

- Blockschaltbilder
- Simulation

Klassifikation entsprechend Einbeziehung der Zeit

- statische (Blockschaltbilder)
- stationäre (Blockdiagramme, Flusspläne, Struktogramme, Netzpläne (DIN 69900), Zustandsdiagramme), Parallelverarbeitung kann dargestellt werden
- dynamische (Petrietze)

Beschreibung von Prozessen I

Zustandsgraph (Ablaufbeschreibung)

Graph

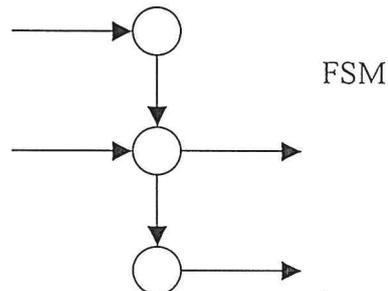
- Kanten
- Knoten
- gerichteter Graph \Rightarrow gerichtete Kanten



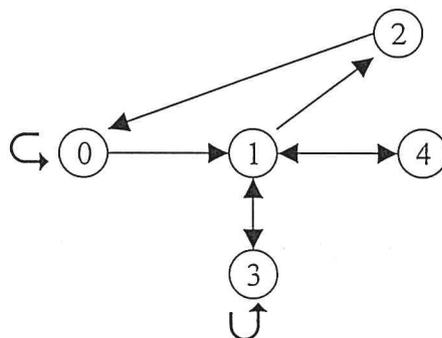
Zustand + Eingang

\Rightarrow Zustandsübergang

\Rightarrow neuer Zustand + Ausgang



Maschine



0 frei

1 in Funktion

2 Störung

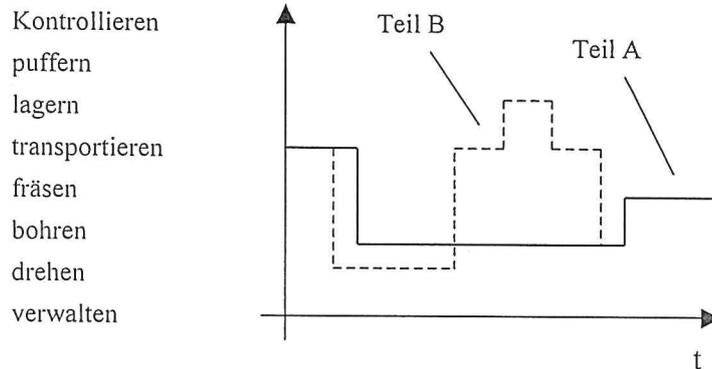
3 Werkstückwechsel

4 Werkzeugwechsel

Zeitliche Beschreibung von Prozessen 2

Ablaufdiagramm (zeigt den Zeitablauf und auch Parallelverarbeitung)

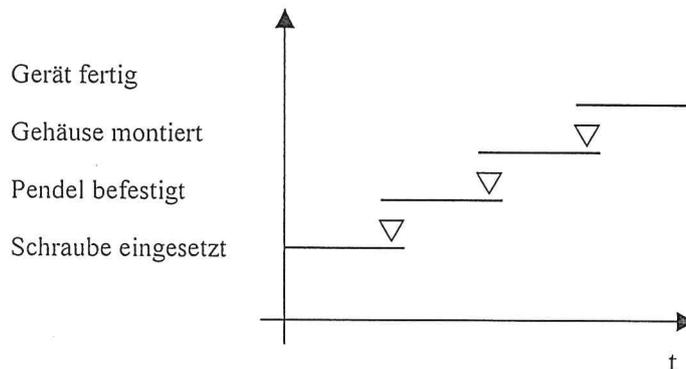
Arbeitsschritte und zugehörige Ressource



z.B. auch Handhabungs- oder Montagepläne

Zeitliche Beschreibung von Prozessen 3

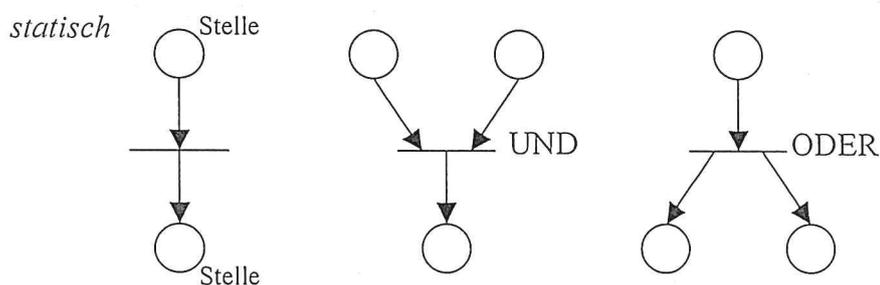
Meilensteinplan (erfolgsorientiert)

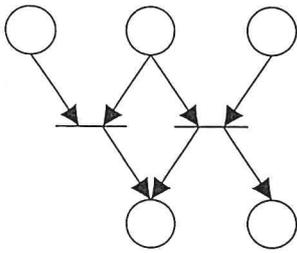


Beschreibung von Prozessen 4

Petrinetze

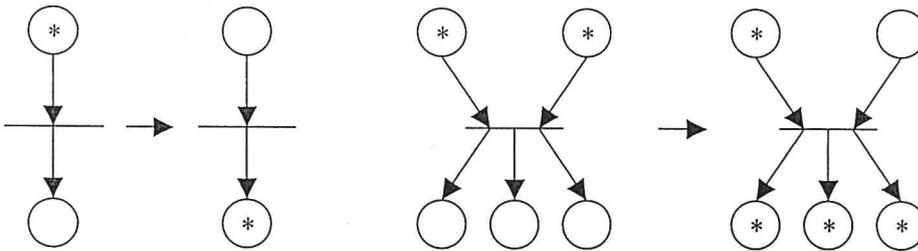
- Stellen (Kreise) Datenpaket ○
- Transitionen (Balken) Programm —
- Pfeile



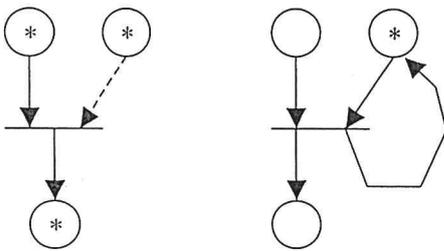


dynamisch

Marken 

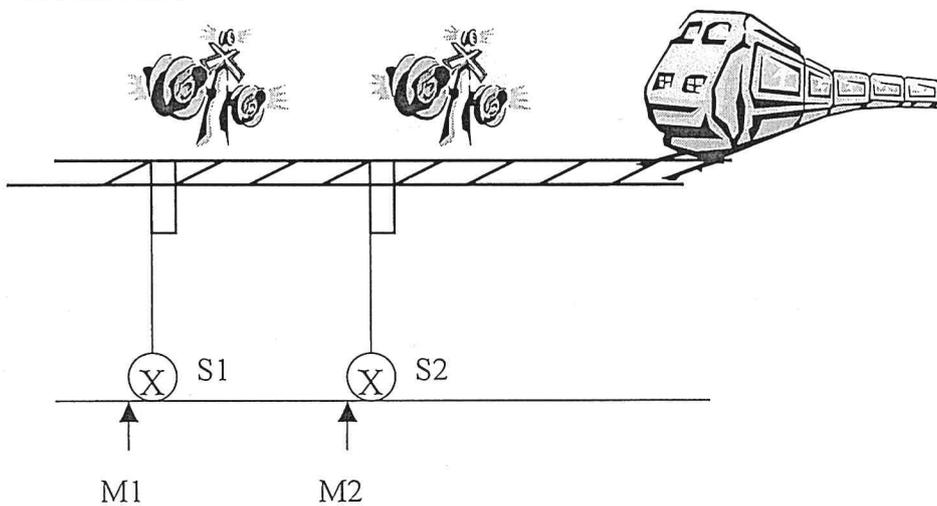


Trigger

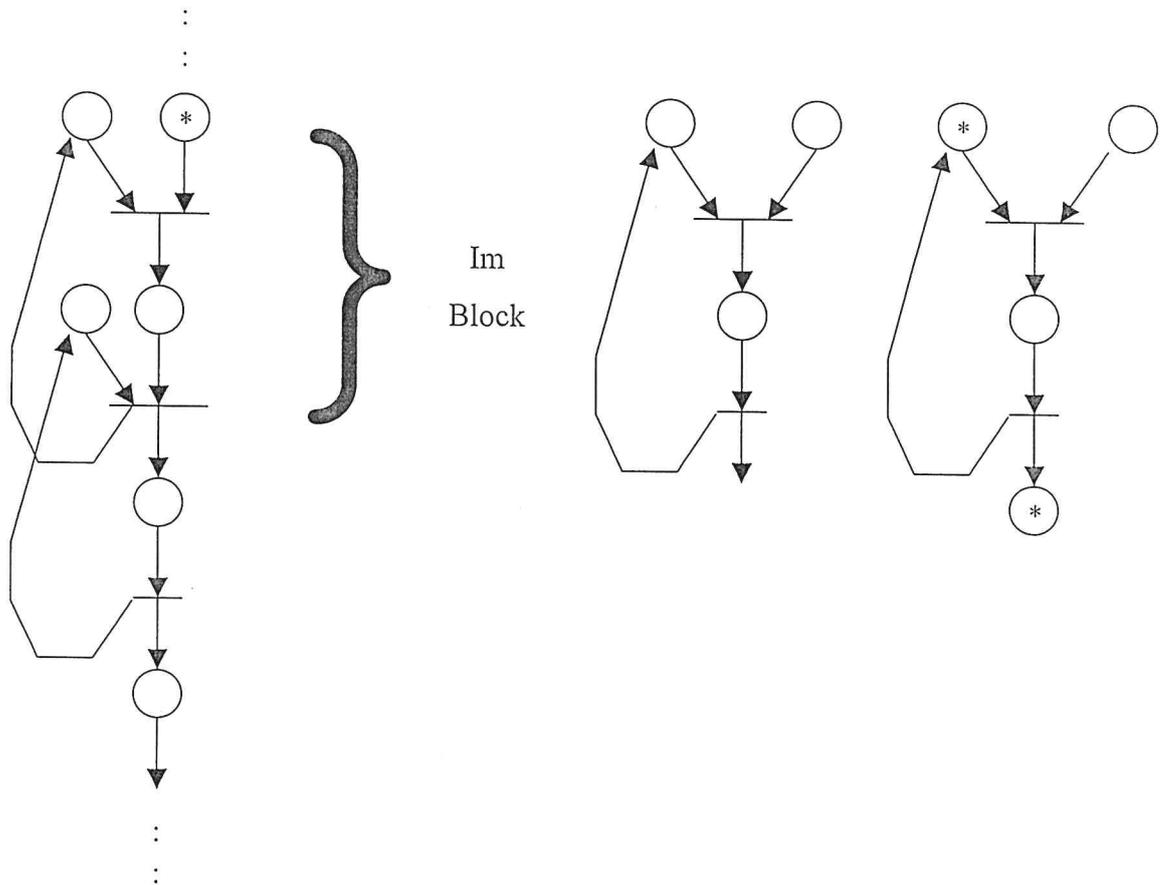


Beispiel

Blockbetrieb



Petri Netz

**Realzeit-Betrieb (DIN 44300)**

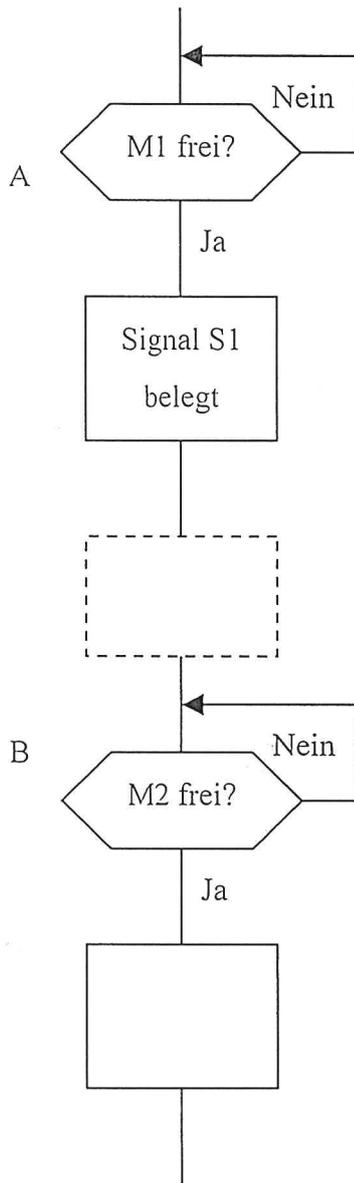
schritthaltend („trägheitslos“)

- Abtastfrequenz der Messgröße hinreichend groß
- Messsysteme hinreichend schnell
- Reaktion hinreichend schnell

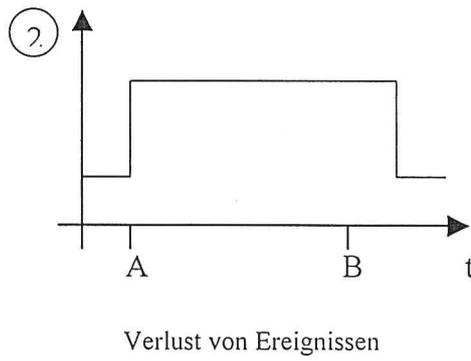
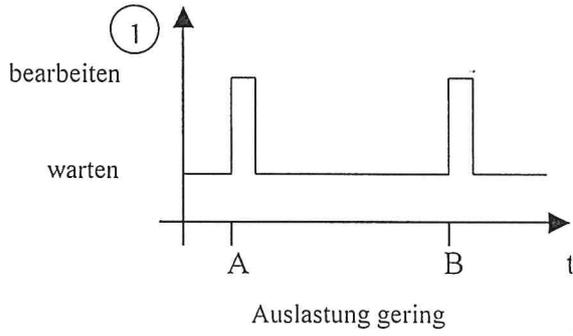
Zwei prinzipielle Verfahren

- Abrufbetrieb (polling)
- Unterbrechungsbetrieb (interrupt)
 - Prioritäten
 - Verwaltung von Programmunterbrechungen
 - Unterbrechung von beliebiger Stelle

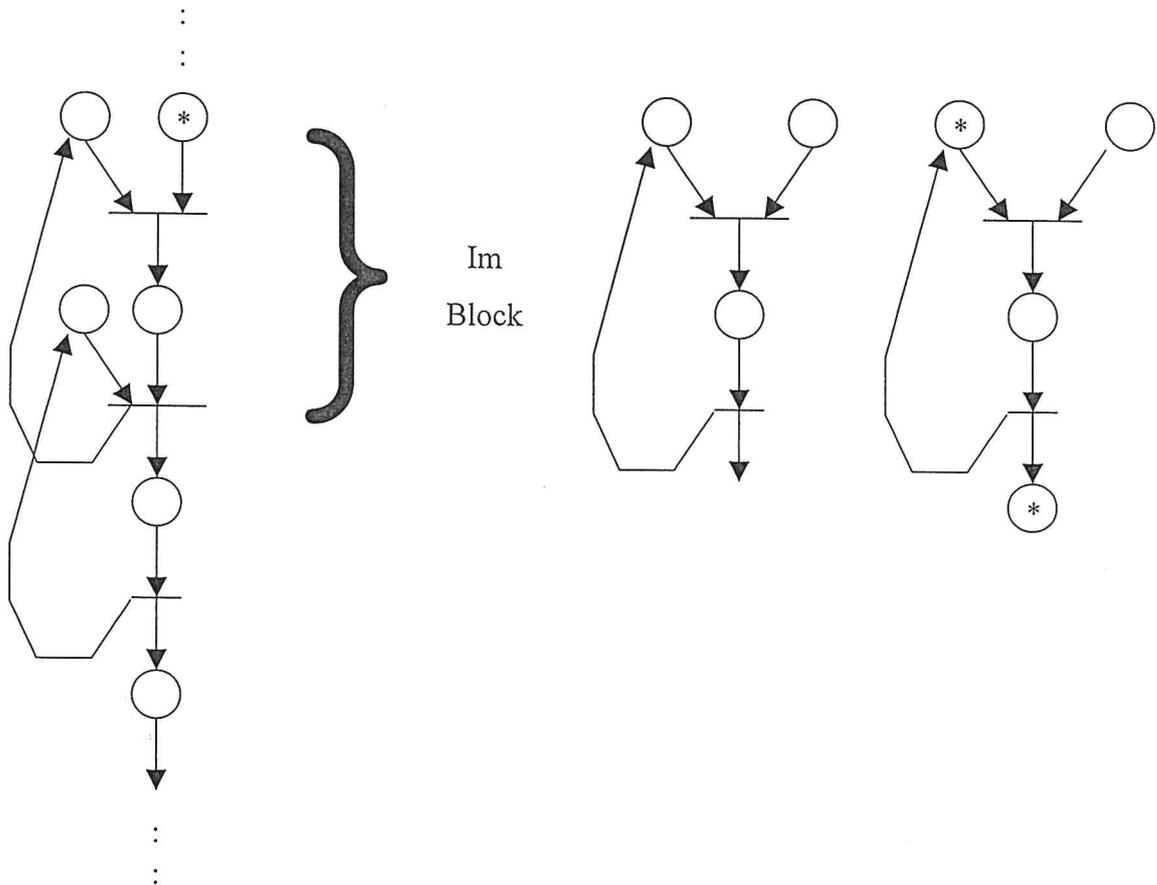
Polling



Abfragebetrieb



Petri Netz

**Realzeit-Betrieb (DIN 44300)**

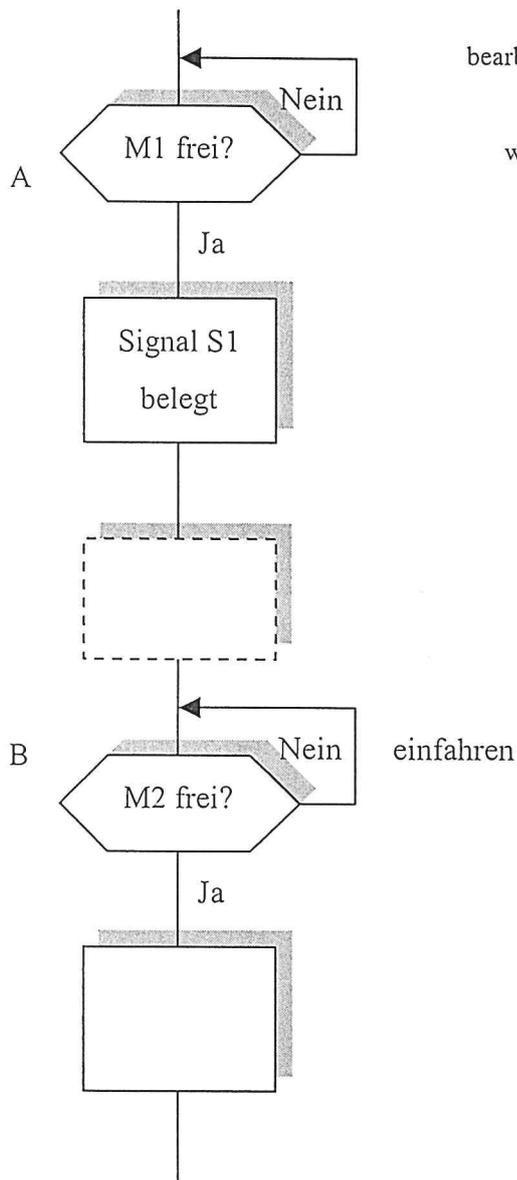
schritthaltend („trägeitslos“)

- Abtastfrequenz der Messgröße hinreichend groß
- Messsysteme hinreichend schnell
- Reaktion hinreichend schnell

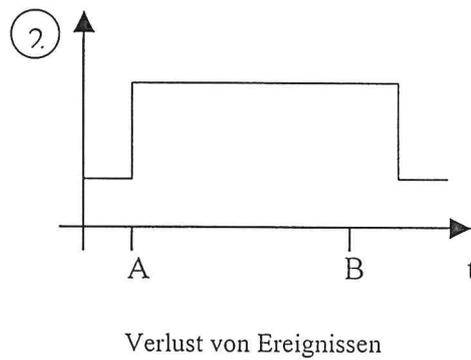
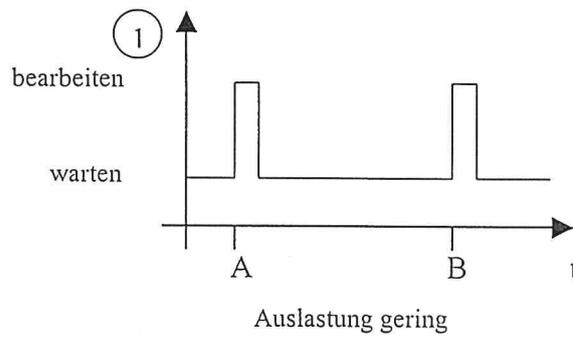
Zwei prinzipielle Verfahren

- Abrufbetrieb (polling)
- Unterbrechungsbetrieb (interrupt)
 - Prioritäten
 - Verwaltung von Programmunterbrechungen
 - Unterbrechung von beliebiger Stelle

Polling



Abfragebetrieb

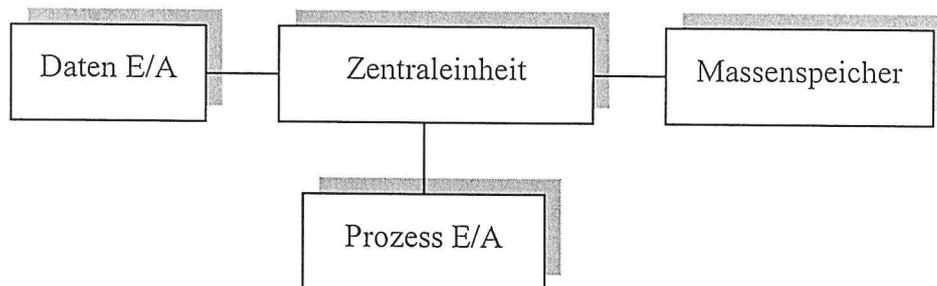


Aufbau eines Einprozessor-Rechners

- Ein/Ausgabe Bediengeräte
 - Konsole
 - Zusätzliche Terminals
 - Alpha-numerisch
 - Druckend
 - Graphisch (s/w; Farbe)

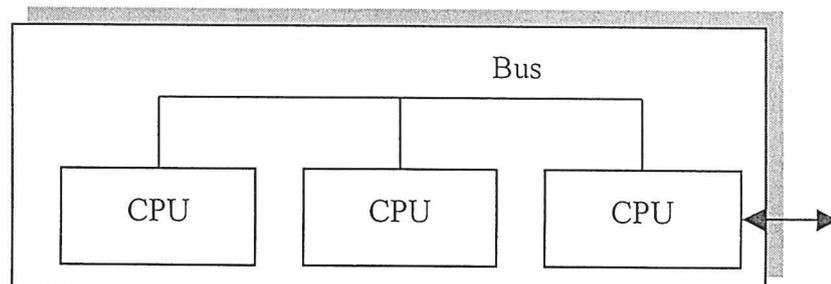
- Drucker (Protokoll, Dokumentation)
- Plotter
- Hardcopy (Videohardcopy, Laserdrucker)
 - Massenspeicher, Langzeitspeicherung großer Datenmengen
 - Magnetplatten /fest, auswechselbar
 - Floppydisk: 5 ¼'; 3 ½'
 - Magnetband
 - Magnetdisketten
 - Magnetooptical disk
 - CD-Rom
- Prozessperipherie
 - Messglieder
 - Stellglieder
 - Teilregler
 - Ereignismelder

Aufbau eines Einprozessor-Rechners

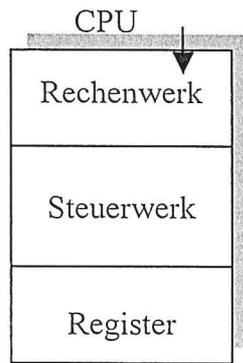


Die Zentraleinheit besteht aus:

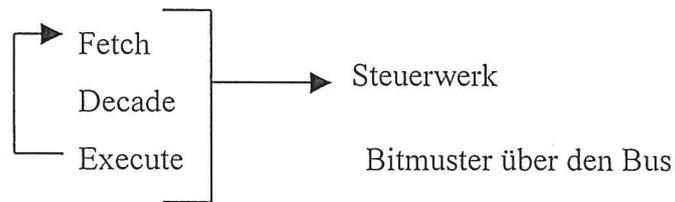
- CPU
- Speicher (Arbeitsspeicher)
- E/A-Werk
- Bus



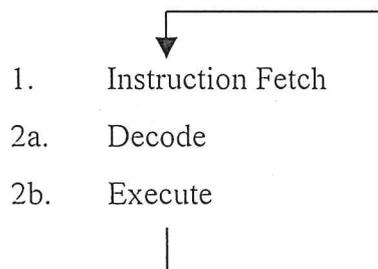
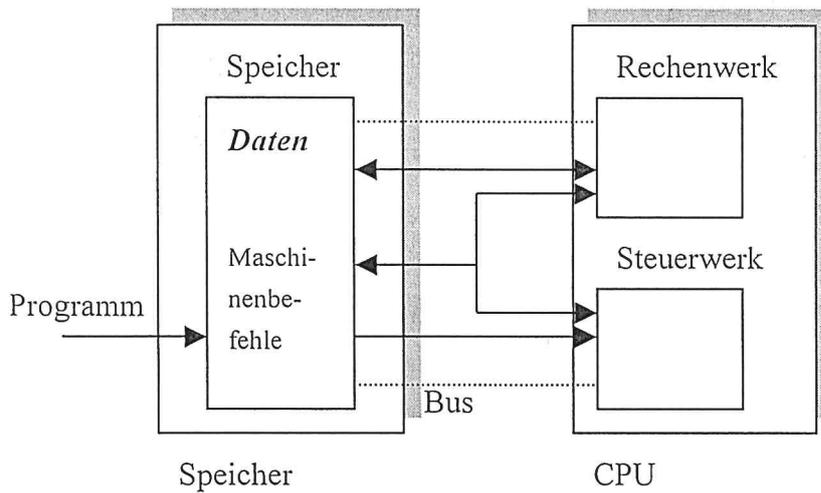
Zentraleinheit



Funktion der von-Neumann-Maschine



Maschinenbefehle von-Neuman-Architektur



zentrale Verarbeitungswerk (CPU) Rechenwerk,

Leistung bestimmt durch:

- Wortbreite bit, Gleitkomma oder Vektorrechenwerk; 8 bit = 1 Byte, (6), 16, 32 \Rightarrow welche Rechengeschwindigkeit braucht die Anwendung
- Maschineninstruktionssatz (Assembler) CISC, RISC
- Geschwindigkeit Taktfrequenz, MIPS, MOPS, MFLOPS (gemessen in benchmarks)
- Intrene (Zahlen)speicher = Register
- Ablaufsteuerung (Steuerwerk)

Arbeitsspeicher (working memory)

Leistung bestimmt durch:

- Kapazität (physikalischer Adressraum)
 - Byte = 8 bit
 - Kbyte = 2^{10} Byte
 - Mbyte = 2^{20} Byte
- Maximal vorgesehene Kapazität (Ausbaubarkeit)
- Geschwindigkeit
 - Zugriffszeit (5-1000ns)
 - Zykluszeit (10-1000ns)
- Organisation: Zugriffsmöglichkeiten
 - Bit-weise
 - Byte-weise (low bzw. high endain)
 - Wortweise

Geräteanschlüsse (I/O Chanel)

Dienen dem Anschluss bzw. der Anpassung von Peripherie

1. einfachste Form: Interface, elektrische Puffer, Umsetzung der Datenorganisation
2. typischerweise: E/A-Prozessoren (Controller)
 - komplexes Protokoll
 - hohe Geschwindigkeit
 - Bedienung mehrerer Geräte (z.B. Massenspeicher)

Eigenständige Bearbeitung von Datentransfers \Rightarrow großer Steueraufwand

Entlastung der CPU durch Arbeitsteilung

wie bei Prozessperipherie gibt es:

- Polling
- Interrupts

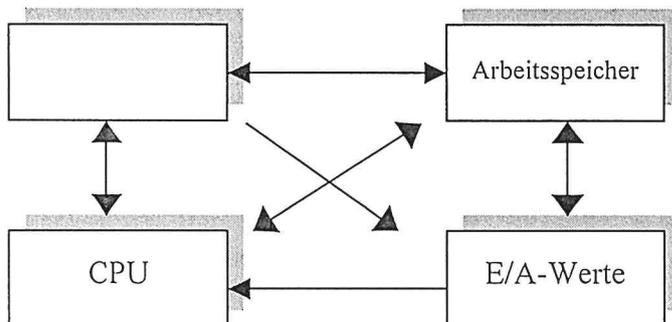
Übertragung dient zur Schnittstellenbezeichnung

- bit-weise: (serielle Schnittstelle)
- Byte-weise: parallele Schnittstelle (bitparallel)
- Wortweise

Interner Bus der Zentraleinheit

BUS (von Omnibus) = für alle

Entstehung:



- komplex
- schlecht erweiterbar

Vorteile von Bussystemen

- logische und physikalische Vereinheitlichung
- Erweiterbarkeit
- Konfigurierbarkeit
- offene Systeme

- Spezialkomponenten insbesondere Prozessperipherie (z.B. Framegrabber, A/D-Wandler, Soundkarten)
- **Nachteil:** begrenzte Bandbreite [in Mbyte/s]

der BUS besitzt:

- Datenleitungen
- Adressleitungen
- Steuerleitungen (Protokoll)

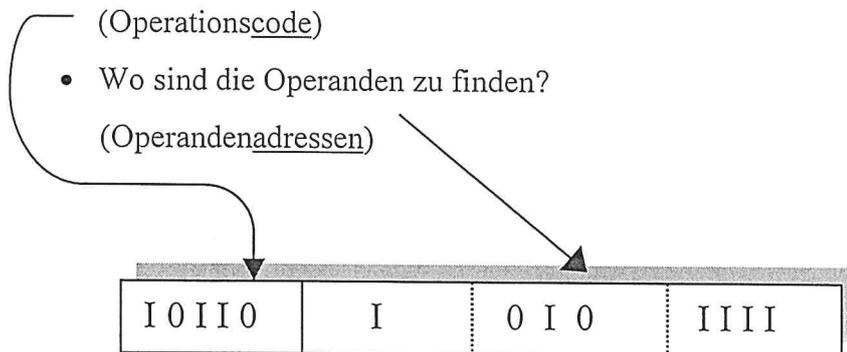
Hardwareprotokoll

- synchron:
fester Zeittakt für alle Abläufe
- asynchron:
Quittungsbetrieb, die nächste Aktion wird erst eingeleitet, wenn die vorherige als abgeschlossen gemeldet wurde

Übertragungsgeschwindigkeit 1-500 Mbyte/s

Instruktion besteht aus:

- Was ist zu tun?
(Operationscode)
- Wo sind die Operanden zu finden?
(Operandenadressen)



Opcode

detaillierter Aufbau der CPU

- Rechenwerk
- Register
- Ablaufsteuerung (Steuerwerk)

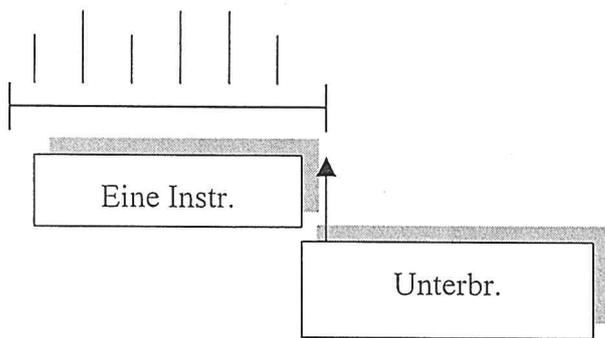
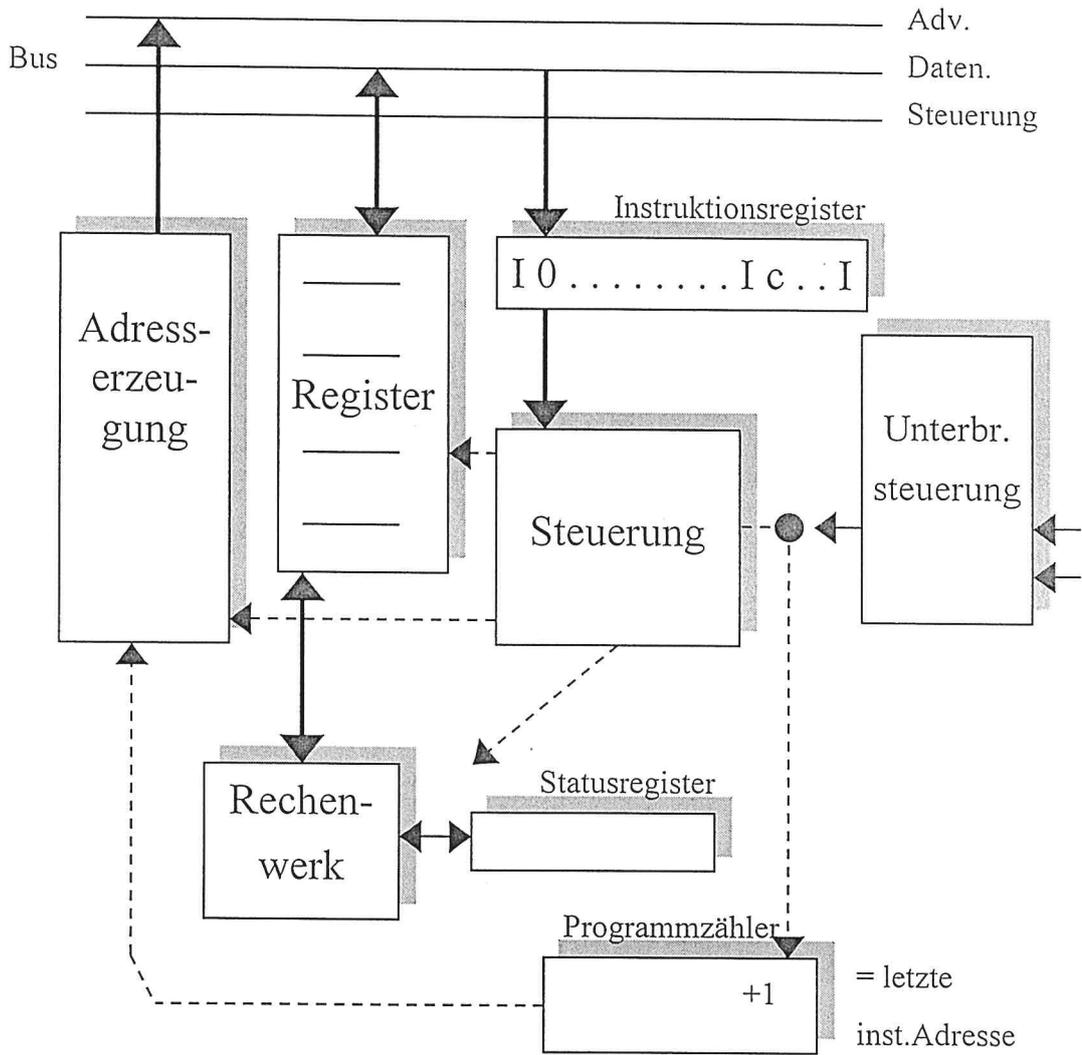
- Unterbrechungswerk (Ablaufsteuerung für Programmunterbrechungen)
- interne Steuerung (schaltet Datenpfade, Datenübergaben)

Operationen

- einfache arithmetische
 - Negation
 - Complement
(2er-Complement) = Negation + 1
 - Addition
 - Subtraktion
- komplexe arithmetische (Ablaufsteuerung oder Speichertabellierung; look-up table)
 - Multiplikation
 - Division

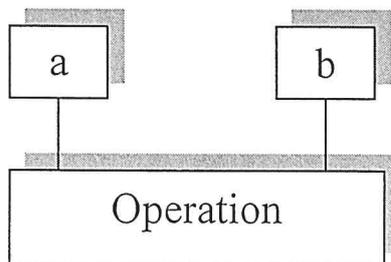
„logische“ Operationen

- verschieben
 - rechts/links
 - arithmetisch, logisch, zyklisch
- swap (bit, Byte)
- AND
- OR
- EXOR
- NOT (siehe Wahrheitstabelle)
- komplexe „logische“
 - barrel-shift
 - Normierung



Rechenwerk

Prinzipidee

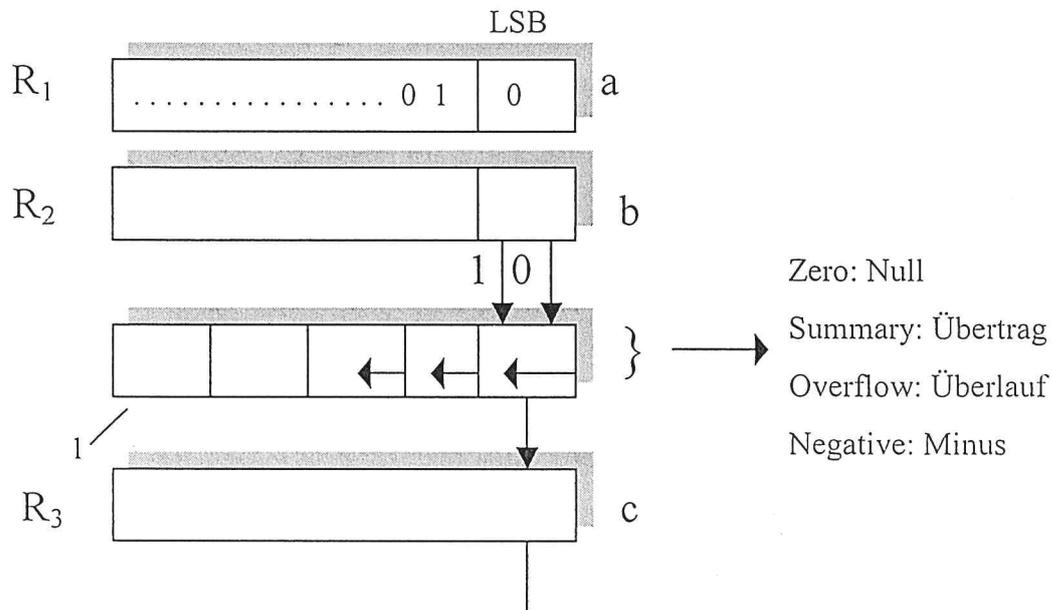


$a * b = c$
 +
 -
 ...

Rechenwerk

ALU

z.B. Ganzzahl (integer) Operationen

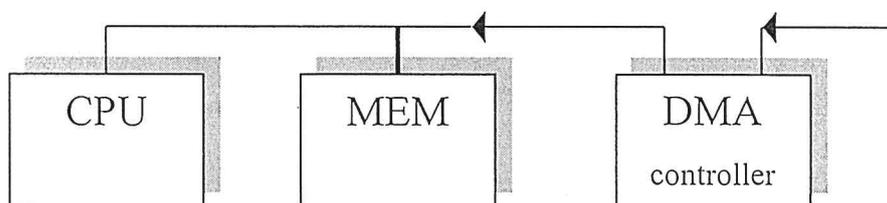


DMA-Betrieb (direct memory access)

eigenständiger Datentransport vom Geräteanschluss bzw. Schnittstelle in den Arbeitsspeicher

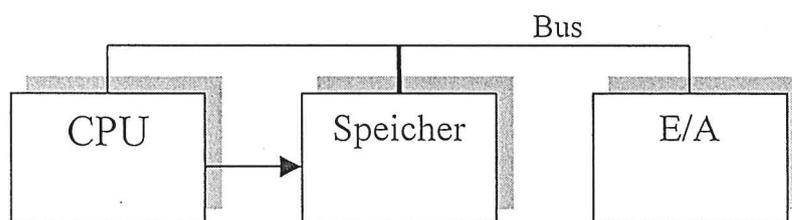
ohne Mitwirkung der CPU

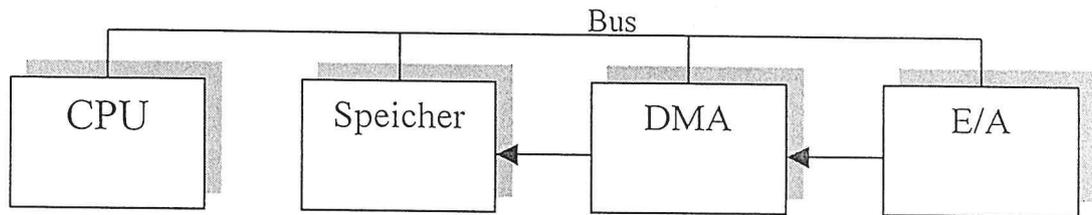
hohe Datenrate aber Blockierung des Busses



direkter Speicherzugriff

DMA (direkt memory access)





+ hohe Datenrate

- Busblockierung

Kommunikation: Peripherie

- Schnittstellen
- Modem
- Daten bzw. Programmkommunikation bzw. Rechnerstatus
 - Terminalbetrieb
 - vollständige Steuerung
 - down-load